DS n° 3

RÉSEAU
D'OBSERVATOIRES
DE SURVEILLANCE
ÉCOLOGIQUE À
LONG TERME

ROSELT / OSS



Concepts et méthodes du SIEL – ROSELT / OSS

Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale

OBSERVATOIRE
DU SAHARA
ET DU SAHEL

ROSELT

Collection ROSELT / OSS – Document Scientifique n°3

OSS

L'Observatoire du Sahara et du Sahel (Oss) a mis en place un Réseau d'Observatoires pour la Surveillance Écologique à Long Terme (ROSELT/OSS) sur la zone circum-saharienne, dans le cadre de son programme de suivi environnemental, en appui aux politiques de mise en œuvre des Programmes d'Action Nationaux et Sous-Régionaux (PAN et PASR) de lutte contre la désertification. Ce dispositif a été conçu avec et au service des pays africains, pour assurer la surveillance à long terme de la désertification et développer les activités de recherche associées. Un mécanisme d'expertise a été mené, conduisant à la sélection, puis à la labellisation par l'Oss de vingt-cinq observatoires dans onze pays. Un ensemble de quatorze sites pilotes a été activé dans la première phase du programme avec notamment l'appui financier de la France et de la Suisse.

Le présent document fait partie de la « *Collection scientifique et technique ROSELT/OSS* », qui comprend les Documents Scientifiques (DS) et les Contributions Techniques (CT).

Les DS sont des documents de synthèse sur les fondements scientifiques du programme ou sur des thématiques scientifiques intéressant la désertification. Les CT sont des documents techniques issus de travaux individuels (mémoires, thèses, mastères) ou collectifs (approches thématique ou géographique), menés dans le cadre du programme. Chaque fascicule provisoire du guide méthodologique ROSELT/OSS est édité en CT. Une fois testés et validés par l'ensemble du réseau, ils seront regroupés et édités en Documents Scientifiques.

La collection scientifique et technique ROSELT/OSS a pour objectif de partager au fur et à mesure avec la communauté scientifique et politique internationale, les avancées scientifiques et techniques du réseau pour :

- une meilleure connaissance sur les causes, les conséquences, les mécanismes et l'extension de la désertification ;
- la construction d'un système de surveillance adapté aux conditions des zones arides pour une meilleure aide à la décision.

Elle traduit le constant effort réalisé par l'ensemble du réseau ROSELT/OSS et complète les autres produits du réseau : bases de données locales, outils de gestion des métadonnées, Systèmes d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale (SIEL) pour le traitement intégré de l'information et la simulation prospective, site internet (www.roselt-oss.org).

La coordination régionale
ROSELT/OSS

Jean-Marc d'HERBÈS

Le secrétaire exécutif
de l'OSS

Chedli FEZZANI

Concepts, méthodes et mise en œuvre du SIEL – ROSELT/OSS

Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale

ROSELT / OSS

2004

Collection ROSELT/OSS – Document Scientifique n°3

ROSELT/OSS DS3, 2004. *Concepts, méthodes et mise en œuvre pour du. SIEL-ROSELT/OSS (Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale)*, collection ROSELT/OSS, document scientifique n°3, Montpellier, 70 p.

Contributions : Maud Loireau, Jean-Christophe Desconnets, Jean-Marc d'Herbès.

Photographie de couverture : Marc Pilon © IRD indigo Base

ISBN : 9973-856-12-0

SOMMAIRE

Préambule

L'ensemble du réseau pilote ROSELT/OSS est entré en 2001 dans une phase opérationnelle de récolte de données et d'information dans la plupart des observatoires. Un des premiers objectifs du réseau est d'organiser l'information vers des produits harmonisés, notamment pour l'aide à la décision, fondés sur la collecte d'une quantité optimale de données ciblées (cf. ROSELT/OSS DS1 et DS2, 2004 – collection présentée en troisième de couverture).

L'organisation et la gestion de la masse d'information produite par les observatoires supposent qu'un système pertinent de traitement de cette information soit mis au point et adopté par l'ensemble des équipes nationales de ROSELT/OSS.

Le présent document présente les méthodologies destinées, en fonction des produits souhaités, à structurer l'information recueillie et à définir progressivement le kit minimum de données communes au réseau :

- les concepts et propositions méthodologiques pour l'étude des changements environnementaux, notamment la désertification ;
- l'outil de traitement de l'information environnementale : Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale (SIEL).

Il présente également le dispositif ROSELT/OSS pour le recensement et la circulation de l'information, comprenant un outil de gestion de métadonnées et le site Internet.

Ce document est complété par le manuel d'utilisation de l'outil SIEL (ROSELT/OSS CT3, 2004), qui détaille l'installation et la mise en œuvre des traitements pour un observatoire. Il s'appuie sur un jeu de données pour guider l'utilisateur à travers les différentes étapes de construction des modélisations et des simulations proposées. Il est bien évident que certaines données collectées dans les observatoires ROSELT/OSS ne relèvent que partiellement d'un traitement intégré dans le SIEL. Certaines thématiques spécifiques, telles la biodiversité, l'érosion des sols ou le foncier-environnement, se prêtent à des travaux d'analyse et de synthèse particuliers. Ils sont abordés par ailleurs (cf. SIEL – ROSELT/OSS DS4, CT2, CT11, 2004).

L'évaluation et la surveillance de la dégradation des terres et de la désertification

Développement rural, dégradation des terres et désertification *

Les ressources naturelles constituent la base de la productivité des systèmes écologiques et des milieux. Dans les pays en développement, l'exploitation des ressources naturelles renouvelables contribue, de manière déterminante, à la satisfaction des besoins essentiels d'une grande partie de la population. L'homme utilise pour son alimentation, pour sa santé et pour sa vie quotidienne une grande variété de ressources vivantes naturelles. Les économies nationales reposent largement sur ces ressources qui contribuent encore, directement ou indirectement, à la majeure partie des exportations de ces pays.

Ainsi, selon la Banque Mondiale, dans la plupart des pays d'Afrique, la part de l'agriculture et de l'exploitation des ressources naturelles renouvelables dans le produit intérieur brut était supérieure à 30% en 1992. L'abondance et le renouvellement des ressources naturelles sont contrôlés par les fluctuations de l'environnement. Leur devenir est fonction des usages qu'en font les sociétés, de la maîtrise des techniques d'exploitation, et de la manière dont elles sont partagées et appropriées.

Les activités humaines liées au développement ont en retour des répercussions importantes sur l'environnement et les écosystèmes. Durant la période 1960 - 1990, il est estimé globalement qu'un tiers de l'accroissement de la production agricole a été assuré par l'augmentation des surfaces cultivées. Cette augmentation a conduit à mettre en culture des terres marginales fragiles et peu productives, au détriment des écosystèmes naturels, favorisant la dégradation des terres, faute de méthodes de gestion adaptées.

On estime globalement que 1 960 millions d'hectares, soit 17% de la surface cultivable, ont été dégradés par l'action de l'homme depuis 1945 (GCRAI, 1994). L'accroissement continu et rapide de la population ainsi que l'urbanisation entraînent une demande alimentaire croissante et diversifiée appelant à une augmentation considérable de la production et à une amélioration de l'efficience des filières alimentaires. Alors qu'en 1950, en Afrique, un agriculteur devait, au-delà

* *Les paragraphes suivants empruntent de larges extraits au texte de Cornet (2002).*

de son auto-consommation, nourrir 0,18 habitant non agricole, le ratio s'élevait à 0,45 en 1980 et atteindra 1,21 en 2010 (CCE, 1984). La quantité de produits alimentaires à commercialiser par l'agriculteur devra être multipliée par sept. Fréquemment, la satisfaction de besoins pressants à court terme, associée avec des crises climatiques, démographiques et économiques imprévues, débouchent sur des pratiques néfastes et conduisent aux processus de dégradation des terres. Les mécanismes de contrôle d'accès et de gestion des ressources naturelles mis en place par les sociétés traditionnelles deviennent alors obsolètes du fait de la pression des besoins. On assiste en de nombreux endroits à une saturation de l'espace agricole disponible, entraînant notamment la réduction des temps de jachère et la rupture des équilibres existants (Floret *et al.*, 1992). L'accroissement futur de la production devra donc être réalisé essentiellement sur des terres déjà en culture et non grâce à des augmentations des surfaces.

C'est du fonctionnement des systèmes sociaux que dépendent les pressions exercées sur les ressources et l'environnement. Le développement rural n'est pas réductible à des processus d'évolution technique ou économique, il repose sur une dynamique et une construction sociale relevant d'acteurs et de déterminants multiples.

Cette dynamique sociale conditionne la mise en valeur des milieux au travers de l'usage des ressources naturelles des écosystèmes, des systèmes de production agricole (agro-systèmes) et d'activités rurales diversifiées. L'espace rural et les ressources naturelles constituent un enjeu pour les différents groupes d'une population, ou pour différentes populations, aux fins de leur reproduction vitale, matérielle et sociale. La manière dont les sociétés humaines gèrent leurs espaces et leurs ressources est fortement marquée par les contraintes culturelles dont dépendent leur perception de l'environnement, leurs capacités d'évolution et d'appropriation de nouvelles technologies.

Pour qu'une société protège son environnement, il faut que cela soit économiquement possible et que celui-ci fasse partie de son système de références. Bien qu'il n'y ait pas de lien univoque, la pauvreté, qui impose des stratégies de survie à court terme constitue un des facteurs importants de l'exploitation “ minière ” des ressources et de la dégradation des milieux.

La destruction des ressources naturelles et la perte de productivité des terres constituent un obstacle majeur au développement de ces pays, pouvant aboutir à des catastrophes majeures difficilement réversibles : famine, abandon des terres, migration brutale (réfugiés de l'environnement).

Dans les zones tropicales et méditerranéennes à fortes contraintes de sécheresse, qui sont caractérisées par des sociétés rurales en pleines mutations sociales et démographiques, les systèmes écologiques fragiles, à faible résilience, supportent donc depuis de longues décennies des perturbations anthropiques fortes (désertisation, aridification, déforestation, etc.). Les baisses de potentialité du milieu y sont plus rapides et les vitesses de reconstitution plus lentes que dans les zones à climat moins contraignant. D'une façon générale, on assiste à un accroissement de l'aridité d'origine édaphique, à une baisse de l'efficience de l'eau

sur l'ensemble des systèmes écologiques et à une profonde modification du couvert végétal et des paysages, affectant la productivité des systèmes de production et les conditions de vie des populations.

La définition de la désertification, retenue au niveau international et énoncée initialement dans le chapitre 12 de l'Agenda 21, puis dans l'article 1 de la Convention de lutte contre la désertification (CLD – CCD en anglais) des Nations Unies est la suivante : « *Le terme désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines* » (Article 1).

La désertification, liée à la perte de productivité totale et de résilience, n'est pas un phénomène soudain ; au contraire, elle apparaît au terme d'un processus évolutif, certes marqué par différents seuils. C'est le processus insidieux de la dégradation des terres qui conduit à une désertification irréversible. Si sur le plan scientifique, il est judicieux de déterminer des seuils d'évolution et d'irréversibilité au sein de ce processus, sur un plan appliqué, la dégradation des terres est incontestablement plus courante et constitue une menace beaucoup plus grave au maintien de leur utilisation et de leurs fonctions écologiques.

La dégradation des terres se produit lorsque l'homme modifie les équilibres ou les dynamiques naturelles par surexploitation des ressources. Les actions humaines sont largement volontaires, parfois liées à l'ignorance et souvent déterminées par l'accroissement des besoins dans un contexte d'évolution technologique insuffisante et d'absence de règles d'accès aux ressources.

Si l'action de l'homme est indéniable et largement démontrée, l'impact des conditions climatiques existe également et leurs rôles respectifs sont amplement discutés. Les sécheresses, notamment au Sahel, ont été les révélateurs de la désertification dans ces zones. La pluviosité moindre et sa variabilité plus grande ont accru la vulnérabilité des ressources naturelles à la dégradation, et il est devenu moins facile aux systèmes écologiques et sociaux de résister.

Cependant on a observé que l'impact de ces sécheresses est faible ou négligeable là où l'impact humain et animal est faible ou nul (Le Houérou, 1993). En effet, la végétation et les sols des régions arides se sont adaptés à des conditions de sécheresses récurrentes au cours des siècles et des millénaires passés, acquérant une capacité à récupérer leurs caractéristiques après perturbation (c'est la résilience).

Selon Le Floc'h (1996), les plus sérieux problèmes écologiques proviennent du comportement des populations et des actions conduites durant les périodes climatiquement favorables, alors que les conséquences n'apparaissent qu'après, lorsque la dégradation a conduit à la perte de résilience et des capacités de récupération des milieux face aux perturbations. La sécheresse serait le révélateur de la dégradation existante.

Pour l'ensemble des auteurs, l'accentuation des phénomènes de sécheresse n'est pas à l'origine de la désertification, mais elle constitue un facteur important d'aggravation de l'effet anthropique sur la dégradation des terres en zones sèches.

Les solutions de lutte contre la désertification reposent sur le contrôle des causes de la dégradation des terres. D'une manière générale, les techniques et les méthodes de lutte contre la désertification peuvent être réparties en quatre catégories correspondant à des stratégies différentes et complémentaires :

- Les méthodes correctives qui visent à stopper un phénomène et à réparer les dégradations subies. On peut citer la fixation des dunes, la lutte contre l'ensablement, les techniques anti-érosives et de conservation des eaux et des sols, les reboisements, mais aussi les techniques de réhabilitation des écosystèmes (Pontanier *et al.*, 1995).
- Les techniques permettant de mieux exploiter les ressources, d'en accroître la productivité, d'améliorer leur régénération. Elles correspondent à la formulation de pratiques améliorées et adaptées pour l'agriculture, l'élevage, l'usage de la biomasse et des sols.
- La mise au point de modèles de gestion intégrée des ressources. Cela porte sur la résolution des conflits, la création de lieux de négociation et de décision, l'établissement de règles de gestion et de sécurisation de l'accès aux ressources.
- La mise en place de mécanismes institutionnels et politiques propices au développement économique et à la préservation des ressources naturelles. Parmi ceux-ci l'établissement de législations et de réglementations, la mise en place d'incitations économiques et fiscales, le développement d'infrastructures, le renforcement des ressources humaines.

Les techniques et les méthodes de lutte doivent être adaptées aux conditions particulières des zones concernées.

Dans une étude pour l'AFD (Agence Française de Développement), Jouve (2001) précise à ce sujet trois exigences majeures : (1) *la contextualisation des techniques*, c'est-à-dire la prise en compte des conditions dans lesquelles les techniques de lutte vont être mises en œuvre afin de choisir les plus pertinentes. Trois grands types de conditions doivent être pris en considération pour raisonner les choix : le contexte agro-écologique définissant les caractéristiques biophysiques de milieux, les systèmes de production et les dynamiques agraires ; (2) *la participation des différents acteurs* engagés dans la lutte contre la désertification, qui est une des conditions *sine qua non* de la durabilité et de la réussite des actions entreprises et (3) *l'existence d'un cadre institutionnel adapté.*

La détermination du contexte agro-écologique nécessite la mise en œuvre d'**études de surveillance-évaluation de la désertification**, avec un double objectif : il s'agit d'une part d'évaluer et de mesurer l'état de dégradation des terres afin de diagnostiquer la gravité du problème, d'autre part de mesurer l'impact des actions de lutte entreprises. Cela repose sur une connaissance approfondie des mécanismes et des processus et sur le développement d'outils spécifiques : indicateurs, observatoires, etc.

L'extension croissante des phénomènes de dégradation des terres et l'inquiétude, tant des pays concernés que de la communauté internationale, ont créé le besoin de mettre au point les outils d'évaluation de surveillance. L'établissement de classes et de taux de dégradation des terres (Warren et Agnew, 1988) présente un certain nombre de problèmes liés : (1) à la nature des critères à retenir pour estimer l'état de dégradation ; (2) à l'évaluation de la résilience et des capacités de récupération ; (3) à la prise en compte des fluctuations inter-annuelles et de la variabilité ; (4) à la disponibilité des données nécessaires ; (5) au lien existant entre les données et les critères utilisés et la capacité de maintien des systèmes locaux d'utilisation des terres. Selon ces auteurs, les critères d'évaluation de la dégradation des terres et des tendances de la désertification devraient être clairs, pertinents et spécifiques, tant en termes d'environnement que d'échelle, ce qui suppose une connaissance préalable des processus fondamentaux.

La désertification et la dégradation des sols résultent de mécanismes et processus complexes et interactifs, pilotés par un ensemble de facteurs agissant à différentes échelles spatiales et temporelles. Leur surveillance exige d'une part la description des conditions biophysiques et socio-économiques des milieux subissant ces phénomènes, et d'autre part la compréhension des mécanismes et processus résultant de ces conditions. Ce suivi repose tout d'abord sur l'acquisition de paramètres de base permettant de décrire les états du milieu et leur dynamique aux échelles spatio-temporelles pertinentes, puis sur l'analyse, et le cas échéant la modélisation, des interactions entre facteurs induisant des processus contribuant à la désertification.

Les indicateurs sont traditionnellement employés dans l'évaluation, la surveillance et la prévision, car ils traduisent de façon synthétique une action, une situation et leur évolution. Ils ont deux fonctions principales :

1- réduire le nombre de mesures et de paramètres qui seraient normalement nécessaires pour rendre compte d'une situation avec exactitude,

2- simplifier le processus de communication des résultats de mesures aux utilisateurs.

Leur objet consiste à condenser un grand nombre d'informations en quelques mesures compréhensibles, puis à nous aider à décider quelle action déclencher. Pour ce faire les indicateurs doivent être corrélés aux buts et objectifs et exprimés en des termes compatibles avec ces buts et objectifs. Un bon indicateur doit être pertinent par rapport au problème, fondé sur des données et analyses fiables et répondre aux besoins de l'utilisateur. Il doit être suffisamment sensible pour donner précocement des indications sur les changements (Rubio et Bochet, 1998 ; ROSELT/OSS DS4, 2004).

Le développement de méthodes de suivi-évaluation de l'état de l'environnement et de l'impact des actions de lutte contre la dégradation des terres repose sur **la mise en place de réseaux d'observation à long terme utilisant des**

méthodologies de collecte et de transfert de données compatibles. L'intérêt de ces observatoires est de collecter les données nécessaires, sur une base harmonisée, de suivre dans le temps l'évolution de processus et de permettre la définition de situations de références. Ils permettent de développer des indicateurs et de les tester, d'élaborer des outils d'aide à la décision intégrant ces indicateurs. Ils constituent également des sites privilégiés de recherche sur l'étude des mécanismes et des processus, ainsi que sur les facteurs déterminant les évolutions.

La stratégie de ROSELT/OSS s'inscrit délibérément comme une contribution essentielle à la compréhension des phénomènes d'environnement, en liaison avec les problématiques de changements globaux, de développement durable et de lutte contre la désertification. ROSELT/OSS est un outil à la fois au service de la recherche et au service du développement, ce qui s'exprime par trois préoccupations majeures (cf. ROSELT/OSS DS1 et DS2, 2004) :

1) Contribuer à l'amélioration du potentiel de connaissances de base sur le fonctionnement et l'évolution à long terme des systèmes écologiques et agro-écologiques et sur la co-viabilité systèmes écologiques/systèmes socio-économiques ; assurer un suivi scientifique et statistique de l'environnement permettant, d'une part, de caractériser les causes et les effets de la dégradation des milieux et, d'autre part, de mieux comprendre les mécanismes qui conduisent à ces phénomènes.
2) Contribuer à rendre les connaissances utilisables, par le regroupement, le traitement des données et leur mise à disposition, par l'élaboration d'indicateurs et de produits finalisés aux différents niveaux locaux, nationaux et régionaux. Ces produits relatifs à l'état de l'environnement, à son évolution et à ses relations avec les dynamiques sociales et économiques, sont destinés à servir d'outils pour l'établissement de stratégies et de plans de développement durable et de protection de l'environnement, à servir d'appui aux programmes de développement et d'aide à la décision. Ils pourront permettre l'élaboration de scénarios plausibles d'évolution.
3) Assurer une fonction de formation, de démonstration et d'apprentissage des problématiques environnementales et de leur prise en compte dans les politiques et les programmes de développement et lutte contre la désertification.

Pour une approche paysagère de la surveillance de la dégradation des terres

La structure du paysage

Face à la complexité du phénomène de dégradation des terres, les approches méthodologiques pour le traitement de l'information doivent permettre d'intégrer des séries de facteurs de nature très diverse, agissant à différentes échelles spatiales

et temporelles. Le paysage est considéré comme la résultante observable à un instant donné des séries de facteurs en interaction sur un même territoire : les uns issus des systèmes sociaux, classiquement associés à des espaces d'organisation administratif ou coutumier, les autres issus des systèmes écologiques classiquement associés à des unités spatiales du milieu.

L'objectif scientifique de ROSELT/OSS consiste à déterminer la part respective de ces séries de facteurs en interaction. Il est donc nécessaire de définir et de délimiter des espaces communs et homogènes, tant du point de vue biophysique et socio-économique, sur lesquels rapporter les effets des différents facteurs et qui deviennent ainsi des espaces d'interaction.

Système ressources-usages

Comme nous l'avons vu, les sociétés rurales des zones arides dépendent en grande partie, mais pas uniquement, des ressources renouvelables pour la satisfaction de leurs besoins alimentaires et énergétiques. Ces besoins se traduisent par une utilisation de l'espace et des ressources, selon des techniques et une logique spatiale dépendant d'une organisation sociale plus ou moins complexe. Le degré d'intégration, ainsi que l'évolution interactive de ces deux processus, est le reflet des relations et adaptations progressives développées entre les différents systèmes, biophysiques et socio-économiques. Tout changement, endogène ou exogène, déterminant des changements d'états à l'intérieur de l'un des systèmes, a des répercussions sur le fonctionnement de l'autre système. Les pressions exercées déterminent des réponses qu'il importe de connaître, d'anticiper, afin de gérer harmonieusement et durablement les relations souvent conflictuelles entre systèmes. La base de la réflexion proposée repose sur la dynamique interactive spatiale et temporelle entre usages et ressources.

Une ressource ne se définit que par rapport à un (ou plusieurs) usage(s) ou à une (ou plusieurs) pratique(s). L'utilisation des ressources détermine des pratiques et des prélèvements qui vont affecter les ressources, et réciproquement. En effet, l'état des ressources à un instant donné peut influencer l'usage qui en est fait par les sociétés. Ce système " ressources/usages/prélèvements " est en évolution continue dans le temps. Son état et son fonctionnement à un moment donné dépendent aussi de l'histoire des facteurs du milieu biophysique, en interaction avec l'histoire d'utilisation du milieu par l'homme.

Le fonctionnement des systèmes écologiques détermine un niveau de production des ressources. Il est contrôlé par différentes variables (climatiques, morpho-pédologiques et biologiques...), à plusieurs échelles (locale, nationale, continentale, mondiale).

Le fonctionnement des systèmes socio-économiques, à travers une organisation en systèmes de production, caractérise les usages et les pratiques. Il est également contrôlé par différentes variables (démographiques, micro et macro-économiques, technologiques, ethnologiques, historiques, religieuses...) à plusieurs échelles (locale, nationale, internationale,...).

La proposition méthodologique de ROSELT/OSS développée dans le présent document consiste, dans un premier temps, à distinguer formellement et à construire séparément les plans d'information spatiale exprimant ces deux séries de facteurs. C'est seulement par la confrontation ultérieure de ces deux plans que l'on peut évaluer l'impact de l'un sur l'autre et les rétroactions qui peuvent en découler. L'intersection de ces deux plans produit un nouveau plan d'information géographique dont les unités géographiques, par construction, reflètent les caractéristiques de l'un et de l'autre des systèmes en interaction.

Afin de rendre compte de l'étendue du phénomène de dégradation des terres, trois axes de réflexion méthodologique sont privilégiés : la spatialisation des données à l'échelle des territoires des observatoires, l'extrapolation aux régions représentées par chaque observatoire, enfin la modélisation autorisant la simulation dynamique et prospective.

Le système d'information sur l'environnement à l'échelle locale (SIEL) de ROSELT/OSS (par la suite, simplement appelé SIEL) se veut un outil, un cadre d'analyse des causes multiples de la désertification sur le long terme qui doit pouvoir répondre à ces divers objectifs. Il doit tenir compte à la fois de la diversité des situations dans les différents observatoires labellisés de ROSELT/OSS et de la complexité des interactions entre systèmes.

Le système d'information sur l'environnement à l'échelle locale (SIEL) : définitions et objectifs

Le système d'information sur l'environnement à l'échelle locale (SIEL) est un ensemble de moyens humains et informatiques permettant de caractériser l'état et la dynamique d'un territoire (territoire de l'observatoire ROSELT/OSS), en référence aux problèmes environnementaux et de développement économique et social. C'est un outil d'intégration, d'organisation et de traitement de l'information sur l'environnement (informations biophysiques et socio-économiques), vers des produits communs d'aide à la décision (bilans ressources/usages, indices de risques, indicateurs de changements, scénarios prospectifs).

Les informations alimentant le SIEL (cf. “ kit minimum de données ”, ROSELT/OSS CT3, 2004) sont dites “ données d'entrée ”, l'outil informatique générant des “ données calculées ” : données intermédiaires ou produits attendus.

La notion de **système d'information** est due à l'économiste américain Boulding (1956 ; cf. également Le Moigne, 1984 ; Castellani, 1987) qui a défini la structure d'un ensemble organisé (exemple : un territoire d'observatoire) par ses trois composants (Gayte *et al.*, 1997) : le système opérant (exemple : les utilisateurs de l'espace), le système de pilotage (décideurs : utilisateurs, législateurs, etc.) et le système d'information lui-même. Le système opérant est à l'origine de l'activité et de la dynamique de l'ensemble organisé. Il exécute les tâches que lui demande

d'assurer le système de pilotage. Le système de pilotage définit les objectifs de l'ensemble et transmet ses instructions au système opérant. Il s'agit du centre de décision. Le système d'information renseigne le système de pilotage sur l'activité et l'efficacité (durabilité, viabilité) du système opérant.

Dans un système d'information sur l'environnement (SIE), l'environnement est aussi bien politique, économique, social ou monétaire, que physique et biologique (Loireau, 1998 ; Gayte *et al.*, 1997). Ce concept est plus large que celui de " milieu écologique " défini comme l'ensemble des facteurs abiotiques (facteurs physiques et chimiques) et biotiques en interaction sur un espace. L'environnement d'un territoire (l'ensemble organisé) comprend ainsi l'ensemble des systèmes en interaction sur ce territoire : systèmes écologiques, systèmes sociaux, systèmes économiques, législatifs, etc.

Le système d'information sur l'environnement est chargé d'assurer l'interface entre un ensemble organisé (le territoire de l'observatoire) et son environnement (tel qu'il est défini ci-dessus). Les systèmes d'information sur l'environnement informent les gestionnaires (décideurs, utilisateurs) sur l'état du territoire et de son évolution (Gayte *et al.*, 1997). De manière plus technique, le SIE est considéré comme un système informatique et humain capable d'assurer la gestion et l'exploitation des données d'origines socio-économiques et biophysiques relatives à un espace.

Le territoire des observatoires labellisés ROSELT/OSS est défini comme une unité spatiale bien délimitée, sur laquelle le fonctionnement des systèmes biophysique et socio-économique en interaction est homogène (Deffontaines, 1986 ; Loireau, 1998 ; ROSELT/OSS DS1 et DS2, 2004 ; cf. p. 20).

Les territoires ROSELT/OSS sont des **unités d'organisation locales** (échelle de la commune, du canton et de la province) : c'est à cette échelle qu'il est possible de comprendre le fonctionnement interactif hommes/milieux et son évolution, ce qui correspond au mandat ROSELT/OSS de compréhension des mécanismes, causes et conséquences de la désertification.

Cette unité d'organisation locale est en relation avec des facteurs socio-économiques, politiques et climatiques à des niveaux supérieurs d'organisation (national, régional, continental, voire mondial).

*

* *

Concepts et méthodes du SIEL – ROSELT/OSS

Principe général : une approche spatiale intégrée

Le principe général de la démarche méthodologique consiste à intégrer des données biophysiques et socio-économiques à travers une approche spatiale intégrée. Il est exposé dans le document scientifique ROSELT/OSS DS2 (2004). Les grandes lignes en sont rappelées ci-dessous.

Pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes en place dans l'observatoire et suivre leur dynamique, il est nécessaire de prendre en compte (**Figure 1**) :

- les processus endogènes propres aux écosystèmes, c'est-à-dire l'ensemble des interactions entre les populations de différentes espèces vivant dans un même site, et entre ces populations et le milieu physique (Frontier, 1999) : production, succession, résilience, cycles, flux, etc.
- l'impact des forces directrices climatiques et anthropiques (démographie, politique, économie).

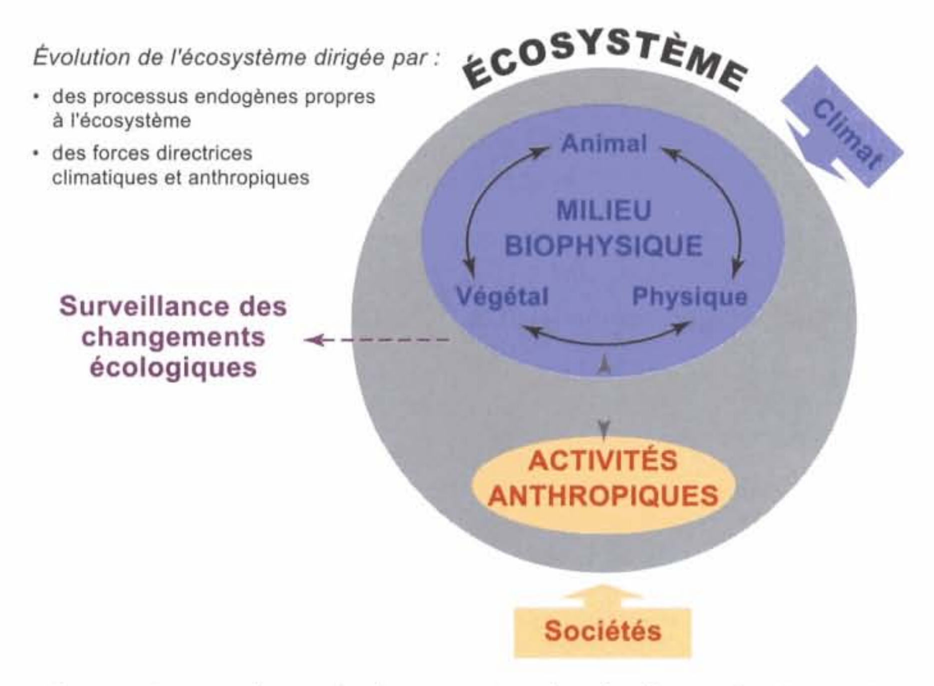


Figure 1 : *Comprendre et suivre les écosystèmes dans les observatoires ROSELT/OSS.*

L'homme est considéré, selon les perspectives, à la fois comme élément de l'écosystème et comme intervenant extérieur agissant sur l'écosystème.

Il intervient, plus précisément, à travers ses pratiques d'exploitation de l'espace et des ressources. Afin de prendre en compte l'impact des activités anthropiques, il convient donc d'intégrer la dimension spatiale, à la fois pour la quantification et la répartition des usages et des ressources correspondantes.

Cette relation entre usages, ressources et espace se définit nécessairement au niveau du paysage (**Figure 2**).

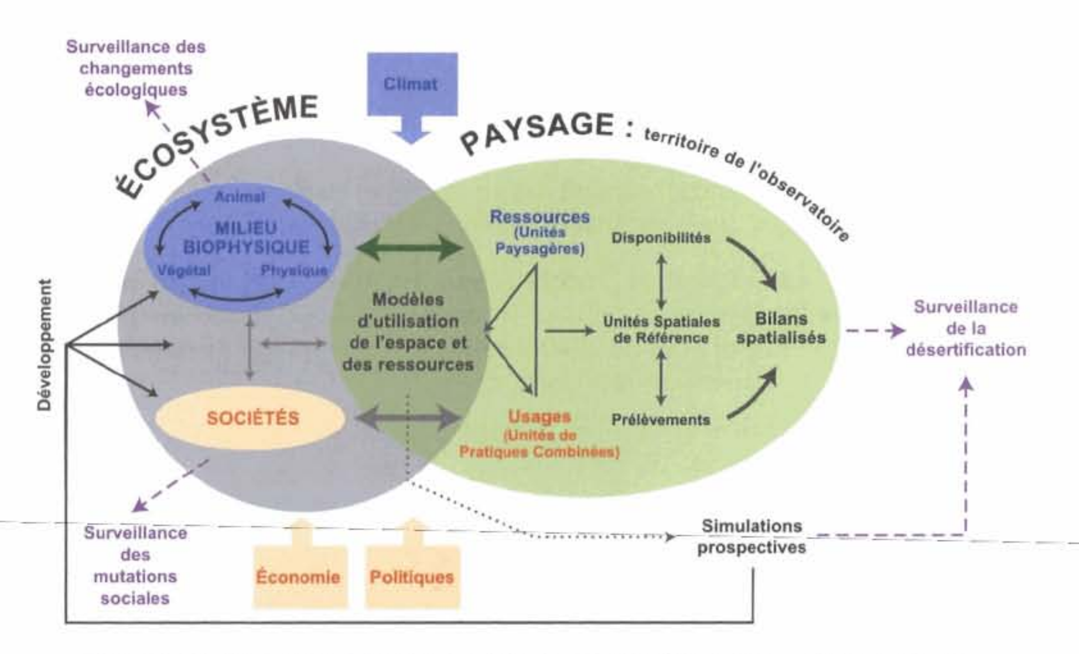


***Figure 2** : Schéma d'organisation des données ROSELT/OSS pour surveiller un paysage et pronostiquer son évolution.*

Dans ce contexte, la méthodologie proposée pour surveiller les changements dans les territoires des observatoires ROSELT/OSS consiste à déterminer :

- les espaces sur lesquels les ressources sont produites (cf. *infra* les Unités Paysagères = UP), en fonction des potentialités de production des écosystèmes ;
- les espaces sur lesquels les hommes appliquent leurs pratiques d'exploitations des ressources (cf. *infra* les Unités de Pratiques Combinées = UPC), en fonction de l'organisation sociale, politique et économique des sociétés et des stratégies des unités d'exploitation ;
- les espaces sur lesquels les ressources disponibles sont prélevées, selon les règles d'utilisation de l'espace et des ressources par les sociétés (cf. *infra* les Unités Spatiales de Référence = USR).

Selon cette approche spatiale, les informations biophysiques et socio-économiques ROSELT/OSS sont intégrées dans un SIEL (système d'information sur l'environnement à l'échelle locale) qui permet d'élaborer des **bilans spatialisés ressources/usages** (interactions homme/milieu) à partir de modèles d'utilisation de l'espace et des ressources, pour la **période d'observation considérée**.

La période considérée est celle pour laquelle l'ensemble des données ROSELT/OSS (climat, végétation, sol, eau, cheptel, faune, population humaine et activités d'exploitations) sont collectées sur l'observatoire selon un pas de temps défini (cf. guides méthodologiques ROSELT/OSS). Quelle que soit la date de récolte des données dans cette période, ces données doivent représenter un fonctionnement tant biophysique que socio-économique relativement stable sur cette période. A priori, sans évènements exceptionnels observés, la durée de cette période est fixée dans le réseau à quatre ans.

Les cartes de bilans ainsi obtenues sont à considérer comme des cartes de risque, c'est-à dire avec des valeurs sur les USR indicatrices d'une pression faible, équilibrée ou trop forte sur le milieu. Elles sont le produit d' “ aléas ”, qui peuvent être assimilés aux phénomènes naturels, tel le climat (qui se répercute sur les données de production dans le modèle du SIEL) et d'une vulnérabilité (assimilée aux actions anthropiques), à travers les pratiques d'exploitation des ressources.

Structuration du territoire d'observatoire en unités spatiales de référence (USR) : les étapes

Principes généraux de la méthode proposée au cœur du SIEL

Le principe central de la méthode mise en œuvre dans le SIEL consiste à structurer la totalité du territoire d'observatoire en unités spatiales construites en “ référence ” à :

- un fonctionnement biophysique qui détermine un niveau de production des ressources ;
- un fonctionnement des sociétés qui détermine des usages et des pratiques appliquées pour exploiter ces ressources.

Ces unités, dites unités spatiales de référence (USR), doivent avoir une relative stabilité temporelle pluri-annuelle (trois à quatre ans), sauf événements exceptionnels. Elles sont (re)construites à chaque période d'observation définie ci-dessus. Dans un premier temps, deux plans d'informations distincts sont créés :

- l'un se rapporte aux conditions du milieu biophysique : les facteurs du milieu déterminent un niveau de production des ressources naturelles.

- l 'autre se rapporte aux activités humaines : l'homme utilise les ressources naturelles à travers les pratiques d'exploitation qu'il applique sur un territoire.

Dans le premier cas, le territoire d'observatoire est découpé en unités dites " paysagères " (UP) ; dans le second cas, il est découpé en unités dites " de pratiques combinées " (UPC).

Dans un deuxième temps, ces deux plans sont croisés ; l'intersection des UP et des UPC délimite les USR (**Figure 3**).

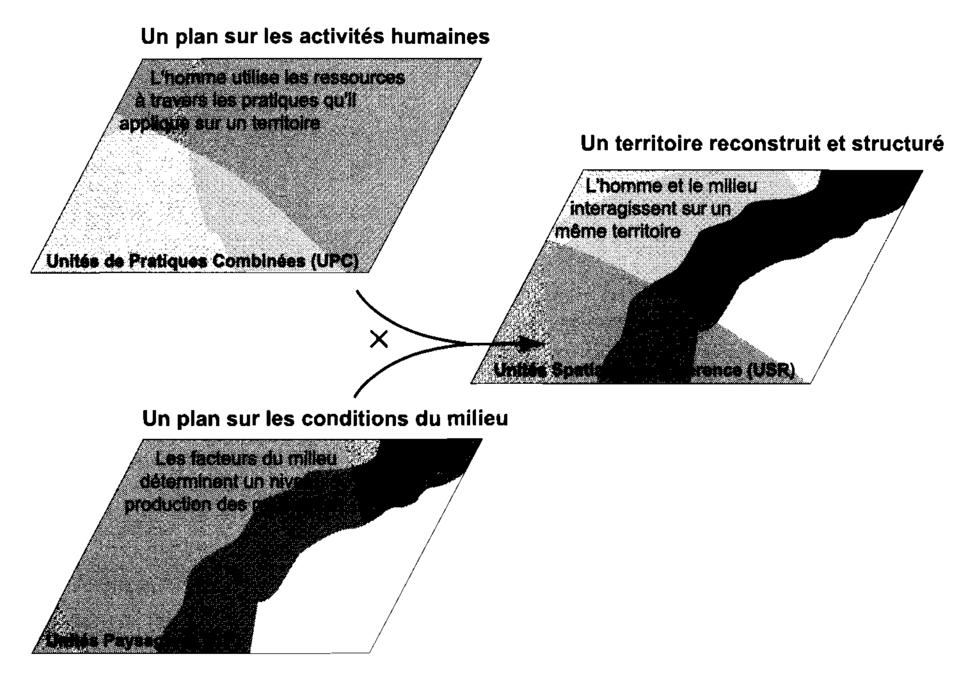


Figure 3 : *Méthodes de construction des unités spatiales de référence (USR) sur les observatoires ROSELT/OSS.*

Cette approche spatiale implique que soient bien définis au préalable les territoires sur lesquels les bilans spatialisés ressources/usages seront réalisés.

Ces " **territoires de modélisation** " sont caractérisés par :

- des règles de fonctionnement biophysique et socio-économique relativement homogènes ;
- une **activité structurante d'exploitation des ressources**, c'est-à-dire dont les pratiques structurent le paysage en unités spatiales homogènes, qui sont caractérisées par différents types d'occupation du sol. Les autres activités d'exploitation des ressources (et pratiques qui en découlent), caractérisant le " multi-usages " des ressources sur l'observatoire, s'appliquent sur le territoire de l'observatoire selon cette structure.

Par exemple, si l'activité structurante est agricole, les troupeaux seront conduits au pâturage (pratiques pastorales) dans les jachères, les zones hors cultures, les champs en saison post-culture, etc. (unités définies par l'activité agricole). Par contre, si l'activité structurante est pastorale, les champs seront mis en culture, là où l'activité pastorale le permet, près des campements, dans les zones marginales, etc. (unités définies par l'activité pastorale).

Ces " territoires de modélisation " peuvent coïncider avec la totalité du territoire de l'observatoire (cf. p. 7) ou en constituer des sous-ensembles. Leurs délimitations respectent obligatoirement un découpage administratif ou foncier de l'espace et doivent être incluses dans un seul secteur écologique du pays.

Construction des unités paysagères (UP)

Les unités paysagères sont immédiatement perceptibles visuellement. Elles sont issues des caractéristiques biophysiques locales, elles ont été façonnées par l'utilisation passée du sol et sont caractérisées par une combinaison déterminée de types d'occupation du sol (*land use*).

Cette combinaison détermine une relative stabilité temporelle des unités paysagères sur la période considérée (pluri-annuelle), au-delà des variations parcellaires (rotation champs-jachère, par exemple).

La carte des UP est différente de la carte d'occupation des terres (COT), car elle intègre les facteurs physiques. Dans les observatoires ROSELT/OSS, les unités paysagères représentent généralement un niveau d'agrégation spatiale supérieur à celui des unités d'occupation des terres.

Du point de vue méthodologique, les UP sont le résultat de l'interaction de trois grandes catégories de facteurs : physiques (géomorphologie, pédologie, relief, micro-climat, etc.), biologiques (*land cover* : recouvrement de la végétation) et humains (*land use* au sens des classifications internationales : forêts, pâturages, cultures, etc.).

Le choix des facteurs pertinents dans chaque catégorie est propre à chaque observatoire ; il résulte d'une lecture spécifique du paysage.

Les UP sont des unités dont les limites, à un certain niveau d'agrégation ou de désagrégation, sont communes aux différentes disciplines.

La construction des unités paysagères fait appel à des méthodes cartographiques classiques, combinant les relevés de terrain, l'utilisation de photos aériennes et le traitement d'images satellitaires. Un guide méthodologique spécifique ROSELT/OSS est élaboré pour harmoniser les méthodes de construction d'un observatoire à l'autre (ROSELT/OSS CT13, 2004).

La carte des UP est une donnée d'entrée du SIEL ; elle doit être préalablement élaborée. Par la suite, sa construction pourra être assistée avec le développement d'un module spécifique dans le SIEL.

Un exemple de construction d'une carte des UP en zone agro-pastorale sahélienne est donné dans la **figure 4**.

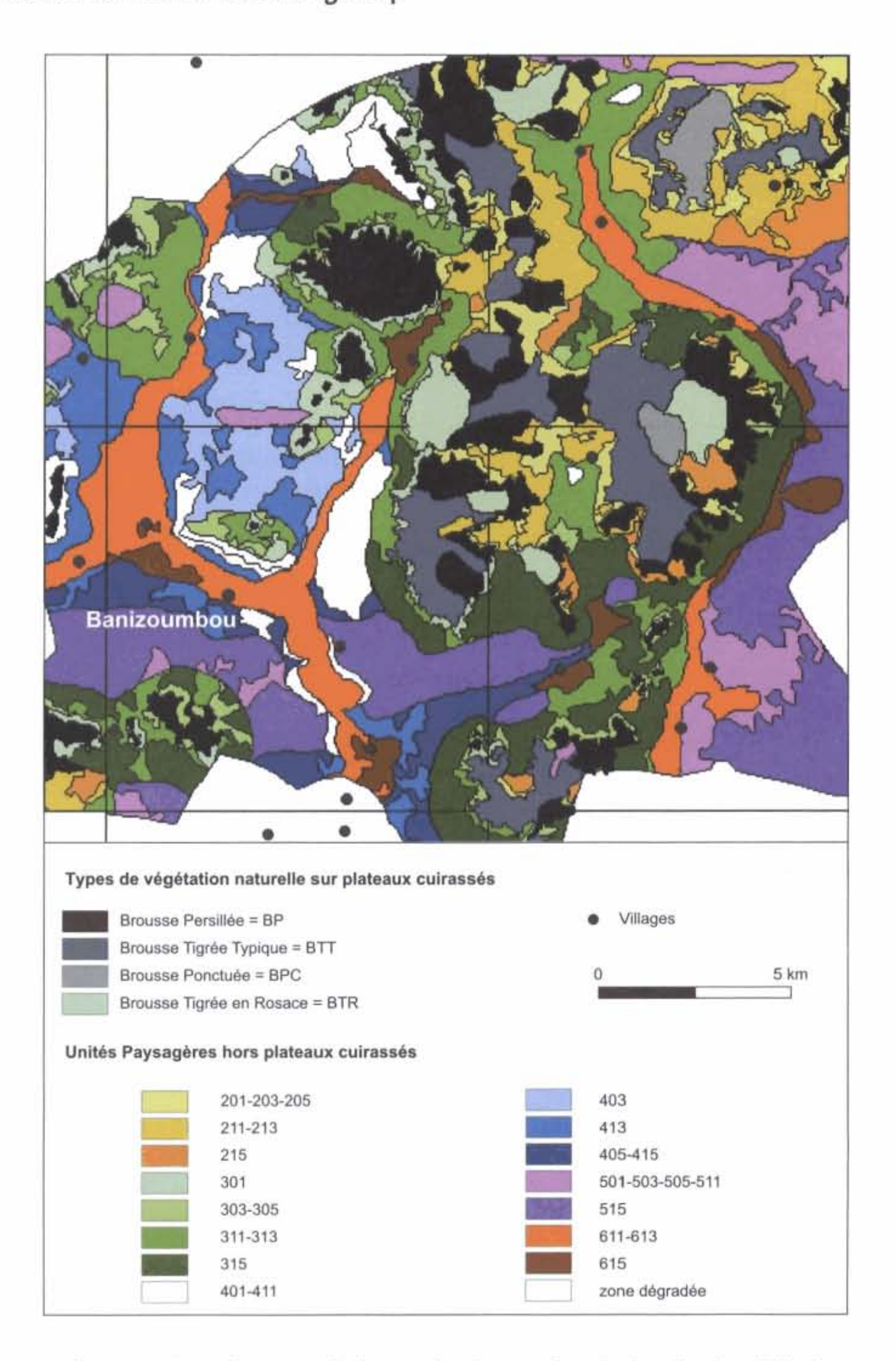


***Figure 4** : Carte des UP sur l'observatoire ROSELT/OSS de Dantiandou (Niger).*
(d'après Loireau, 1998)

Les caractéristiques des UP déterminent un niveau de production potentielle des ressources naturelles renouvelables (attributs de l'unité : végétation, sols, eau, etc). À l'intérieur de chaque UP, la végétation varie en fonction des types d'occupation des sols qui composent cette UP : il faut alors la quantifier pour chacun de ces types.

Construction des unités de pratiques combinées (UPC)

Définitions et principes généraux

La **pratique** se réfère ici à la pratique agricole, dont le sens est étendu à toutes activités d'exploitation des ressources naturelles : aménagement, défrichement, mise en jachère, fertilisation, mode de pâturage, mode d'exploitation forestière, etc. Ces pratiques peuvent être associées.

Une **classe de pratiques combinées** du territoire de l'observatoire associe à un ou plusieurs usages, dans le temps et dans l'espace, une ou plusieurs pratiques d'exploitation des ressources naturelles. Cette combinaison de pratiques est appliquée à différents endroits sur le territoire de l'observatoire sur des unités spatiales homogènes qui structurent le paysage : les **unités de pratiques combinées (UPC)**.

Les unités de pratiques combinées, contrairement aux unités paysagères, ne sont pas forcément visibles dans le paysage (**Figure 5**).

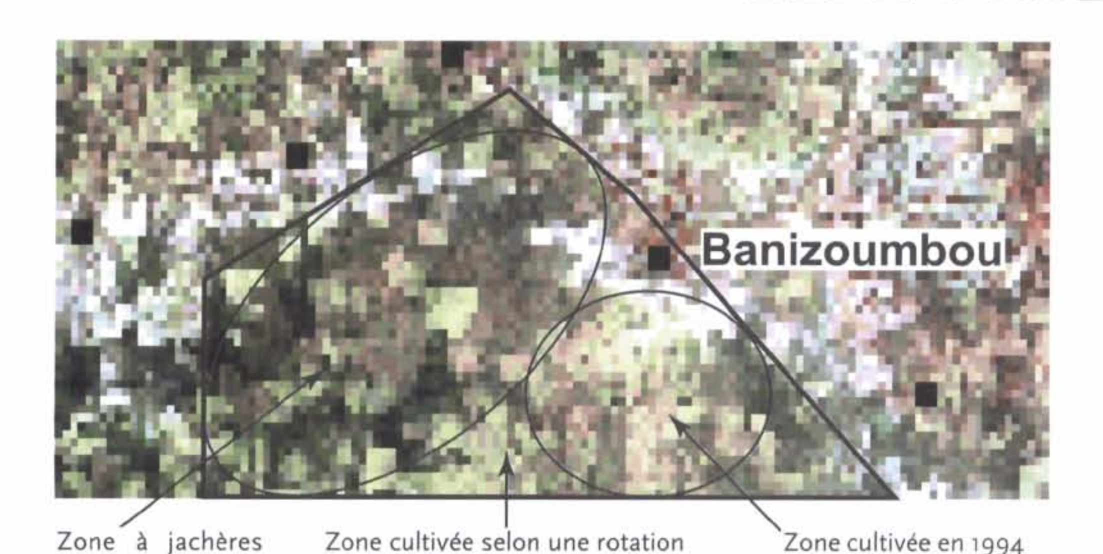


***Figure 5** : Exemple de la difficulté de visualiser les UPC, observatoire ROSELT/OSS de Dantiandou (Niger).*

Leur construction ne se fait pas à partir de traitements d'images satellitaires et de relevés de terrain ; elle s'effectue à partir de modèles de spatialisation des pratiques. La construction des UPC se réalise en deux temps principaux :

1) élaboration de la typologie des pratiques combinées,
2) élaboration de la carte des UPC à travers un modèle de spatialisation des pratiques combinées.

Ces deux étapes majeures sont explicitées dans les paragraphes suivants. Seule la seconde est intégrée dans l'outil SIEL.

Élaboration de la typologie des pratiques combinées

Pour chaque période considérée, une typologie de pratiques combinées doit être établie à l'échelle de l'observatoire. C'est une donnée d'entrée de l'outil SIEL.

Les classes de pratiques combinées sont appliquées ensemble au même endroit par un ou plusieurs groupes d'agents, selon la même logique d'exploitation autour d'un ou plusieurs centres d'activités. Chaque classe de pratiques combinées comprend au moins une pratique liée à l'activité structurante du territoire considéré.

Pour les besoins de la modélisation, un **groupe d'agents** est :

- soit un groupe d'individus avec une même stratégie d'exploitation des ressources naturelles (= groupe stratégique défini par la typologie des exploitations de l'observatoire) avec différents rôles (gérer, exploiter, résider, prélever) ; plusieurs types peuvent être identifiés : agriculteur, agro-pasteur, pasteur, etc. ;
- soit un groupe d'animaux domestiques (= troupeau) ou sauvage (= faune) avec un seul rôle (prélever) ; plusieurs types peuvent être identifiés selon la composition et la taille des troupeaux.

Le groupe d'agents peut résider dans un ou plusieurs centres d'activités successivement dans le temps. Il peut utiliser simultanément un ou plusieurs autres centres d'activités pour exploiter les ressources.

Un **centre d'activités** est un élément fixe du territoire autour duquel un ou plusieurs groupes d'agents organisent l'exploitation des ressources naturelles. Il peut être un point, un groupe de points (plusieurs fermes isolées ; douars ; plusieurs villages et hameaux autour d'un seul chef de village ; puits le long d'un oued), une ligne (un cours d'eau, une route), un polygone (centre urbain).

Plusieurs types peuvent être identifiés : un village, un campement, un point d'eau... ; ils ont une durée de vie et peuvent être associés à une ou plusieurs activités pour une période donnée.

Dans une zone où l'activité agricole est structurante, une classe de pratiques combinées est liée au type d'exploitation (cf. ROSELT/OSS CT2, 2004) et à ses facteurs de production (terre, main-d'œuvre, etc.).

À titre d'exemple, une classe peut être décrite comme suit :

- *culture de mil, selon un cycle cultural en moyenne de quatre ans de culture et six ans de jachère pâturée ; les critères de remise en culture sont liés aux indicateurs biologiques de récupération de la jachère ; il y a apport de fumier grâce au parcage d'animaux en période de jachère (exemple sahélien) ;*
- *céréaliculture en sec sans aménagement (après un défrichement de la steppe), avec une mise en culture chaque année favorable (en fonction de la répartition des pluies), soit en moyenne une année sur trois ; le reste du temps en friche pouvant servir pour le parcours des troupeaux (exemple sud méditerranéen) ;*
- *arboriculture d'oliviers, éventuellement associée à d'autres arbres fruitiers ; avec un aménagement pour la récolte des eaux de ruissellement (type* jessour*), sur les talwegs dans une zone de parcours ; utilisation des produits de la taille ; et céréaliculture les années favorables (autre exemple sud méditerranéen).*

Dans une zone où l'activité pastorale est structurante, une classe de pratiques combinées est liée au type de troupeau et à son mode de conduite au pâturage. À titre d'exemple, elle peut être décrite comme suit :

- pâturage intensif d'un troupeau mixte, avec gardiennage actif par le berger dans une unité donnée (100%) ; la pratique de l'émondage est couramment appliquée par le berger ;
- pâturage léger d'un troupeau de bovins sur une mosaïque de parcours et de jachères, avec " grappillage " de quelques espèces-clés au cours du passage du troupeau.

Les données nécessaires pour construire la typologie des pratiques combinées sont issues d'un dispositif d'enquêtes " agro-socio-économiques " mené sur le terrain pour la période considérée (cf. ROSELT/OSS CT2, 2004).

Calcul du degré d'artificialisation

Pour chaque classe de pratiques combinées, un degré d'artificialisation est calculé.

Le **degré d'artificialisation** exprime le degré d'investissement de l'homme sur le milieu, en termes de moyens humains, matériel, financier, etc. (facteurs de production).

C'est un indice complexe, calculé, qui permet de quantifier ce degré d'investissement.

Il est construit selon les trois étapes suivantes :

1) identification des critères du degré d'investissement jugés pertinents pour l'observatoire (degré de mécanisation, investissement en main d'œuvre, degré d'aménagement, etc.) ;
2) pour chaque critère, une valeur est attribuée (sur une échelle de valeurs commune) selon le niveau d'artificialisation de la classe de pratiques combinées ;
3) la somme de toutes les valeurs des critères est effectuée pour chaque type de pratiques (avec possibilité de pondérer les critères, selon l'importance que l'on veut leur donner).

Le **tableau 1** illustre ce mode de construction.

Tableau 1 *: Exemple du mode de construction du degré d'artificialisation complexe.*

Classe de pratiques combinées	Critère a		Critère b		Critère c		Degré d'artificialisation global
	D° art.	poids	D° art.	poids	D° art.	poids	
1	0	2	1	1	3	1	4
2	3	2	5	1	3	1	14
3	5	2	10	1	3	1	23
4	8	2	2	1	1	1	19

Principes généraux de construction des unités de pratiques combinées (UPC)

L'application d'une classe de pratiques combinées sur un espace défini détermine une UPC, composée des différents types d'occupation du sol qui la caractérisent, selon une proportion (%) définie.

Si le type d'occupation du sol est le même quelle que soit l'année dans la période considérée, l'UPC sera caractérisée par un seul type d'occupation du sol sur l'ensemble de sa superficie.

Si la classe de pratiques combinées est caractérisée par une rotation (annuelle ou saisonnière) ou une succession de différents types d'occupation du sol (cultures, jachères, friches, autres), l'UPC sera composée de ces différents types d'occupation du sol, selon un pourcentage proportionnel à la durée de la rotation.

À titre d'exemple :

- une UPC caractérisée par un cycle cultural de quatre ans de jachères et six ans de cultures sera composée virtuellement de : 1/10 de jachères de un an, 1/10 de jachères de deux ans, 1/10 de jachères de trois ans, 1/10 de jachères de quatre ans, et 6/10 de cultures. Cela doit se traduire visuellement dans le paysage (UP), à un moment donné, par une mosaïque parcellaire reflétant cette composition ;

- une UPC caractérisée par une mise en culture opportuniste (une année favorable pour la culture tous les quatre ans) comportera virtuellement 25% de parcelles cultivées et 75% de friches. Au niveau du paysage, à un moment donné, cela se traduit visuellement par une homogénéité parcellaire : pas du tout de cultures certaines années, ou quasiment tout en culture.

Les unités de pratiques combinées ont, de par leur mode de construction, une relative stabilité dans le temps (pluri-annuelle).

◆ **La distribution spatiale des pratiques sur le territoire de l'observatoire se fait autour des centres d'activités** (éléments d'organisation, points focaux ; cf. p. 24).

Le principe fondamental de ces " modèles distribués " est le suivant : les pratiques combinées sont potentiellement appliquées en un lieu donné par un ou plusieurs groupes d'agents en fonction des caractéristiques biophysiques locales de ce lieu et de l'espérance en produits d'exploitation (production moyenne par cycle d'exploitation) en ce lieu des groupes d'agents pour contribuer à la satisfaction d'un type de besoin.

La production moyenne par cycle d'exploitation (PMC) exprime le produit moyen annuel d'exploitation (récolte, viande, lait, etc.) calculé sur la période considérée selon le type de pratiques combinées et selon la qualité du sol (produits agricoles) ou la qualité pastorale (produits d'élevage).

Par exemple, si une classe de pratiques alterne des années de mise en culture et des années de friche (cas de la céréaliculture à Menzel Habib, Tunisie) ou de jachère (cas de la céréaliculture à Dantiandou, Niger), la production agricole annuelle moyenne pour la période considérée tient autant compte des rendements les années de mise en culture que de l'absence de rendements les années de friche ou de jachère (production moyenne annuelle par cycle cultural).

Pour les besoins de la modélisation (notamment simulation), on peut distinguer les rendements pour des années favorables (bonne pluviométrie) ou défavorables (années sèches).

Cette production s'exprime avec la même unité que les besoins : équivalent céréales ou équivalent monétaire, etc. Elle est mesurée sur le terrain selon un protocole déterminé (cf. ROSELT/OSS CT2, 2004). C'est une donnée d'entrée de l'outil SIEL, calculée par cet outil.

Le besoin exprime la demande en produits, sur le territoire d'exploitation, de la part des groupes d'agents rattachés à un centre d'activités. Cette demande est fonction des différentes destinations des produits : autoconsommation, commerce (vente, échange, don), stockage (re-investissement, prévision des pertes).

◆ Le modèle générique de spatialisation des classes de pratiques combinées utilise obligatoirement les **quatre éléments fondamentaux** suivants :

1) des territoires d'exploitation autour des centres d'activités ;
2) des règles de spatialisation des classes de pratiques combinées autour des centres d'activités dans les territoires d'exploitation ;
3) un support cartographique pour la spatialisation des pratiques ;
4) des besoins à satisfaire sur chaque territoire d'exploitation.

Construction des territoires d'exploitation

Un territoire d'exploitation est une aire d'exploitation potentielle des ressources naturelles par un ou plusieurs groupes d'agents, autour d'un ou plusieurs centres d'activités opérationnels (" actifs ") pour une période donnée.
Pour une période donnée, les centres d'activités opérationnels sont les points focaux correspondant à l'activité structurante de l'observatoire.

Selon les observatoires, les territoires d'exploitation peuvent être obtenus directement, soit à partir de cartes existantes (par exemple d'unités agro-pastorales reconnues), soit à partir de relevés cartographiques spécifiques. Dans ce cas, la carte des territoires est une donnée d'entrée du SIEL. Dans le cas contraire, ces territoires doivent être construits par modélisation : la carte est générée par l'outil, sur la base de règles respectant des principes communs à tous les observatoires, mais établies à partir des spécificités locales de l'observatoire.

Selon ces principes communs, les limites des territoires d'exploitation sont liées à la répartition spatiale des centres d'activités et à leurs poids relatifs. Ce poids dépend du – ou des – groupes d'agents (taille et puissance du groupe, ancienneté d'installation, etc.) attachés aux centres d'activités. Si chaque territoire se construit autour d'un seul centre d'activités, c'est un " modèle centré " ; autour de plusieurs centres, le modèle est dit " distribué ".

En zone agro-pastorale, le modèle centré correspond, par exemple, à un habitat concentré en villages. En zone pastorale, il peut correspondre à des campements proches des puits, etc.
Le modèle distribué renvoie typiquement, en zone agro-pastorale, à un habitat dispersé (fermes isolées par exemple), ou à des campements disséminés et éloignés des points d'eau.

Différents types de modèles de construction des territoires d'exploitation sont développés dans le SIEL (cf ROSELT/OSS CT3, 2004).

En zone agro-pastorale sahélienne, les territoires d'exploitation sont construits selon le modèle centré (**Figure 6**).

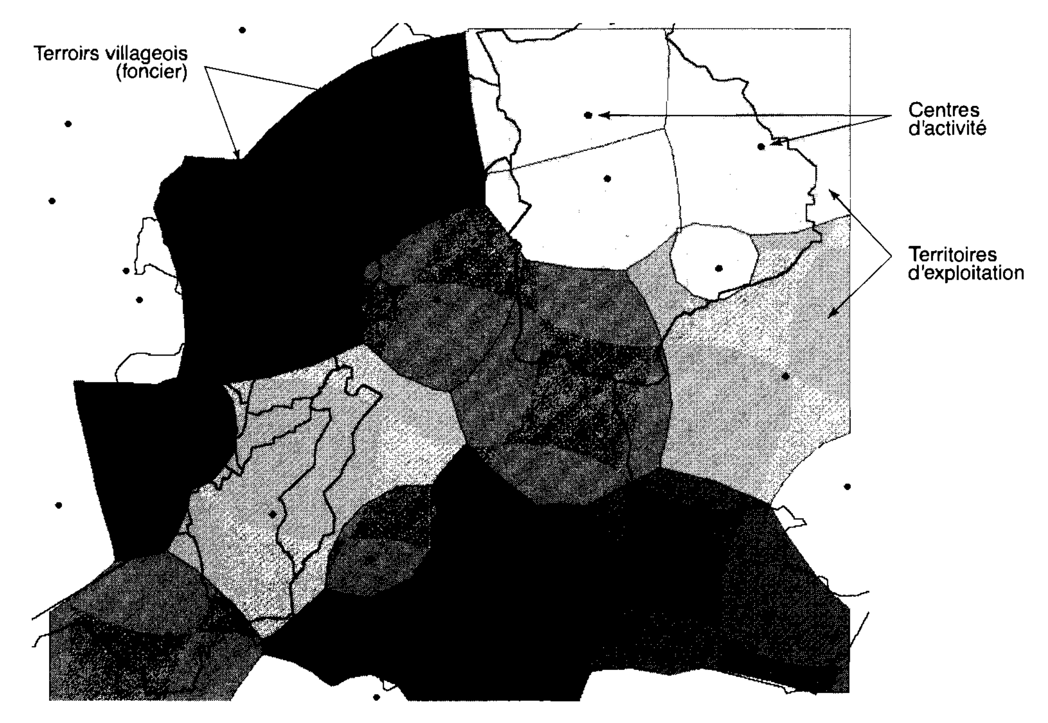


***Figure 6** : Exemple de territoires d'exploitations construits selon le modèle distribué, observatoire ROSELT/OSS de Dantiandou (Niger).*
(d'après Loireau, 1998)
Chaque couleur correspond à un territoire d'exploitation.

Dans cette zone, les territoires d'exploitation modélisés correspondent à l'aire d'exploitation effective de la population de chaque village. Ils ne correspondent pas entièrement et/ou subdivisent les terroirs villageois qui, eux, sont les zones sur lesquelles un chef de village a le pouvoir d'attribution des terres (une réalité sociale liée aux règles d'accès foncier aux terres).

◆ **Validation des territoires d'exploitation**

Deux méthodes de calibrage et de validation du modèle sont proposées :

1) Allers-retours entre la carte des territoires d'exploitation modélisés et une cartographie de terrain. Ce type de validation est un traitement classique SIG, qui n'est pas spécifique au SIEL.

2) Calcul du nombre de sites de renseignement-sol (informations récoltées sur le terrain : cf. ROSELT/OSS CT2, 2004), correctement inclus dans les territoires d'exploitation résultants. Ce type de validation est proposé dans l'outil SIEL.

◆ **Le modèle générique** proposé met en œuvre la règle suivante :

Un ou plusieurs groupes d'agents applique(nt), à un **endroit donné** au sein du territoire d'exploitation, une classe de pratiques combinées qui optimise leur **intérêt**.

Un **endroit donné** du territoire de l'observatoire (point ; pour la modélisation : pixel) est caractérisé par :

- la qualité de la ressource utile (sol, biomasse pastorale, ligneuse, etc.) pour l'activité structurante ; et
- son accessibilité (distance au centre d'activité, accès foncier).

L'**intérêt**, à un endroit donné, est le rapport entre :

- la production moyenne par cycle d'exploitation (PMC) attendue en fonction :
  - de la classe de pratiques combinées appliquée, et
  - des caractéristiques biophysiques locales de cet endroit, qui définissent le niveau potentiel de production de ce milieu,
- et l'effort (E) fourni par un ou plusieurs groupe(s) d'agents pour appliquer cette classe de pratiques combinées à cet endroit.

L'intérêt augmente avec un accroissement de la production (PMC) et/ou une diminution de l'effort.

Formule générique de l'intérêt : **I=PMC / E**

Le(s) groupe(s) d'agents applique(nt) différentes classes de pratiques combinées à différents endroits du territoire d'exploitation jusqu'à satisfaire au mieux leur besoin en produits d'exploitation sur ce territoire.

Ce besoin peut ne pas être satisfait sur ce territoire : il peut être alors être redistribué sur les autres territoires d'exploitations de l'observatoire, ou satisfait par d'autres voies (approvisionnement sur le marché, échanges, migrations temporaires, etc.), ou rester insatisfait (migrations définitives, famines).

◆ **Calcul de l'effort**

L'**effort (E)** est fonction, d'une part, de l'**investissement** et, d'autre part, de la **difficulté** rencontrée pour appliquer un type de pratiques combinées à un endroit donné par un ou plusieurs groupes d'agents.

La **difficulté** est liée :

- aux caractéristiques biophysiques de l'endroit pour l'exploitation des ressources (pénibilité du travail au regard des moyens technologiques disponibles) ;
- à son accessibilité (distance au centre d'activités notamment).

L'effort augmente quand la difficulté pour l'exploitation de la ressource augmente et que son accessibilité diminue.

Hypothèses fortes du modèle :

- La difficulté d'exploitation est liée aux moyens technologiques utilisés : elle est donc prise en compte dans la notion d'investissement (mécanisation *vs* travail manuel par exemple).
- L'accessibilité foncière entre dans la caractérisation des classes de pratiques combinées : un exploitant sécurisé sur le plan foncier aura un niveau d'investissement supérieur à un exploitant non sécurisé.

En conséquence, le facteur retenu dans les observatoires ROSELT/OSS pour l'évaluation de la difficulté est donc le facteur distance.

Formule générique de l'effort : **$E = (Ep)^{d/ds}$**

Ep : investissement lié à l'application d'une classe de pratiques combinées, quel que soit son lieu d'application.
d : la distance entre le centre d'activités et l'endroit où l'on souhaite appliquer la classe de pratiques combinées.
ds : distance seuil associée aux centres d'activités.

Ep correspond à l'investissement (travail, temps, salaire, aménagement, etc.) fourni par un ou plusieurs groupes d'agents pour appliquer une classe de pratiques combinées, selon les techniques utilisées, quelle que soit la qualité de la ressource utile (sol, végétation, etc.) et son accessibilité (distance, statut foncier, etc.).

ds est une valeur paramétrée lorsqu'un seuil de distance au centre d'activités est identifié, au-delà duquel la distance devient un facteur très contraignant pour appliquer toute classe de pratiques combinées.

L'investissement Ep est une fonction du **degré d'artificialisation**, caractéristique des classes de pratiques combinées.

Dans l'outil SIEL-ROSELT/OSS, différentes méthodes de calcul de Ep peuvent être développées, en fonction des spécificités des observatoires (cf. CT3). Le calcul spécifique de l'effort est intégré dans le SIEL.

◆ **Le support cartographique** pour spatialiser les classes de pratiques combinées est la carte des ressources utiles (caractéristiques biophysiques locales) pour l'activité structurante, construite à l'échelle de l'observatoire, C'est une donnée d'entrée de l'outil SIEL.

Lorsque l'activité agricole est structurante, il s'agit de la carte d'aptitude des sols à la mise en culture, issue de l'interprétation d'une carte géomorpho-pédologique et/ou de la représentation mentale des paysans.

Lorsque l'activité pastorale est structurante, il s'agit de la carte de qualité pastorale, issue de l'interprétation qualitative (qualité pastorale des espèces, et/ou perception des pasteurs) et quantitative (capacité de production) de la carte de végétation.

Ces cartes de *ressources utiles* doivent être relativement simples à construire pour garder la capacité d'extrapolation à la région que représente l'observatoire. Elles peuvent être issues de la " désagrégation " d'une carte à plus petite échelle, ce qui renforce la capacité de changement d'échelle et d'extrapolation.

Un exemple de carte des UPC construit selon le modèle centré en zone agropastorale sahélienne est présenté dans la **figure 7**.

Sur cette carte, les centres des auréoles sont les villages (centres d'activités). Dans le cas présenté, l'aspect très concentrique des auréoles reflète une homogénéité des conditions de sol pour la mise en culture, et donc une influence prépondérante du facteur " distance " sur la répartition des classes de pratiques combinées (surtout dans le cas de déplacements à pied). En revanche, les distorsions dans ce schéma concentrique traduisent essentiellement les contraintes du milieu pour la mise en culture.

◆ **Validation des unités de pratiques combinées**

Une méthode de calibrage et de validation du modèle centré de construction des UPC consiste à calculer le nombre de sites de renseignement-sol (informations récoltées sur le terrain : cf. ROSELT/OSS CT2, 2004), correctement inclus dans les UPC correspondantes. Ce type de validation est proposé dans l'outil SIEL.

Résumé de la démarche : un territoire structuré en unités de pratiques combinées

Lorsque le territoire de l'observatoire est vaste (région d'un pays) et/ou qu'il comprend des sous-ensembles bien différenciés (sur les plans biophysique et humain), la modélisation peut être effectuée sur des parties de l'observatoire, appelés territoires de modélisation (**Figure 8**).

Ces territoires sont, à leur tour, découpés en territoires d'exploitation autour des centres d'activités, à l'intérieur desquels l'espace est structuré en unités de pratiques combinées.

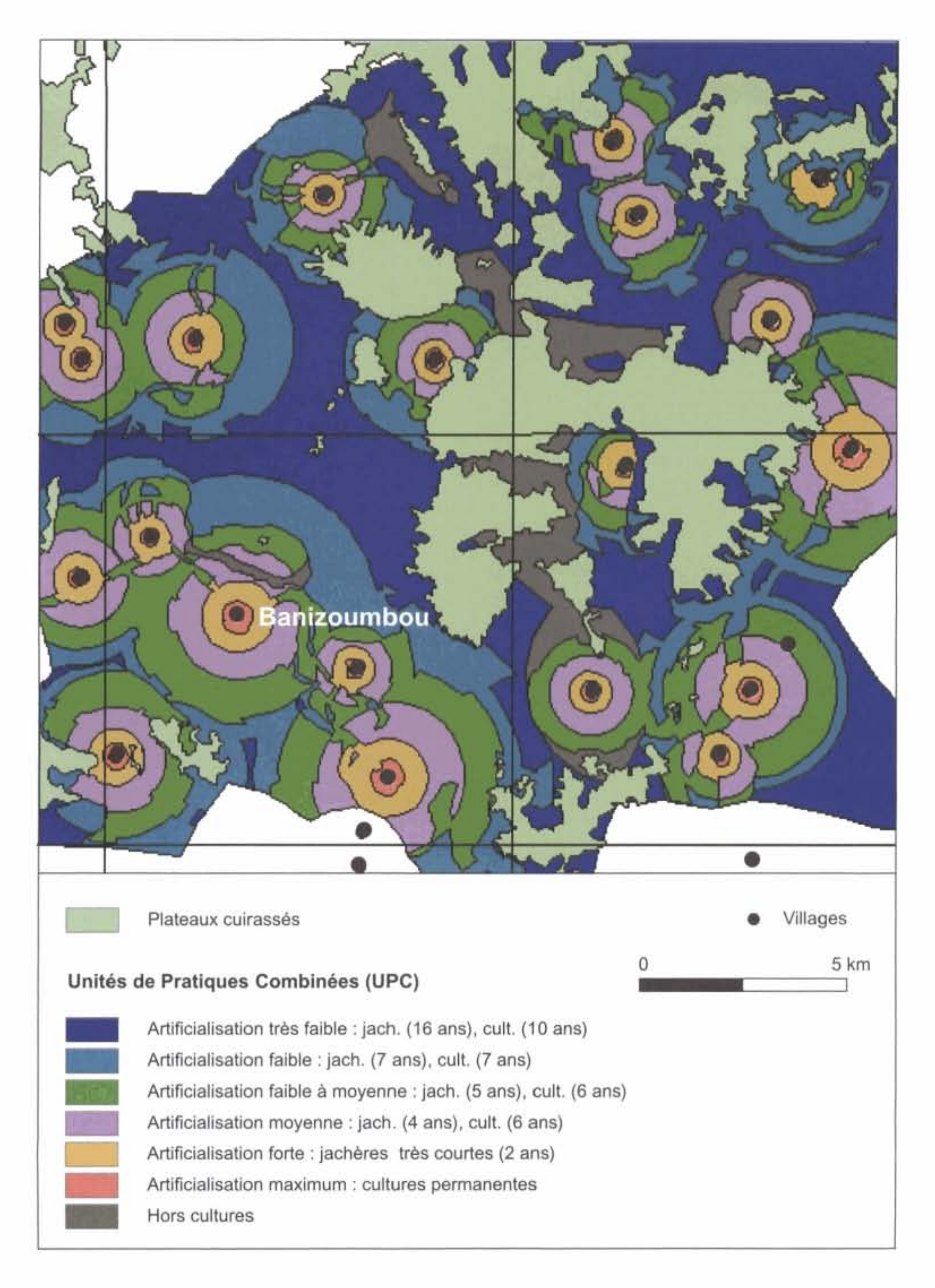


***Figure 7 :** Carte des unités de pratiques combinées, construite selon un modèle centré dans une zone agro-pastorale sahélienne : observatoire ROSELT/OSS de Dantiandou (Niger). (d'après Loireau, 1998).*

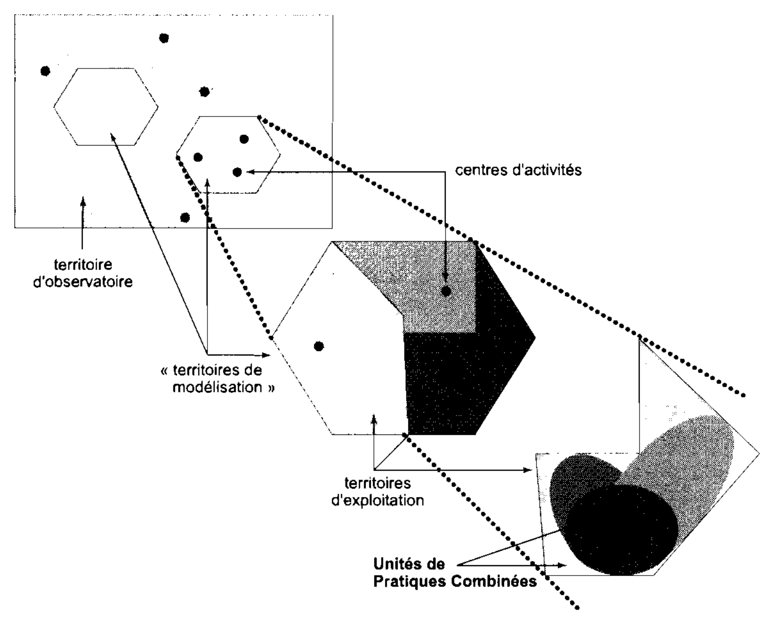


***Figure 8 :** La structuration des territoires d'observatoire ROSELT/OSS en unités de pratiques combinées.*

Construction des unités spatiales de référence (USR)

L'USR est le résultat de l'intersection entre l'unité de pratiques combinées (UPC) et l'unité paysagère (UP) : **USR = UPC ∩ UP**. L'unité spatiale de référence est le plus petit dénominateur commun entre les UP et les UPC. Plusieurs cas de figure peuvent se présenter (**Figure 9**) : inclusion, confusion et intersection.

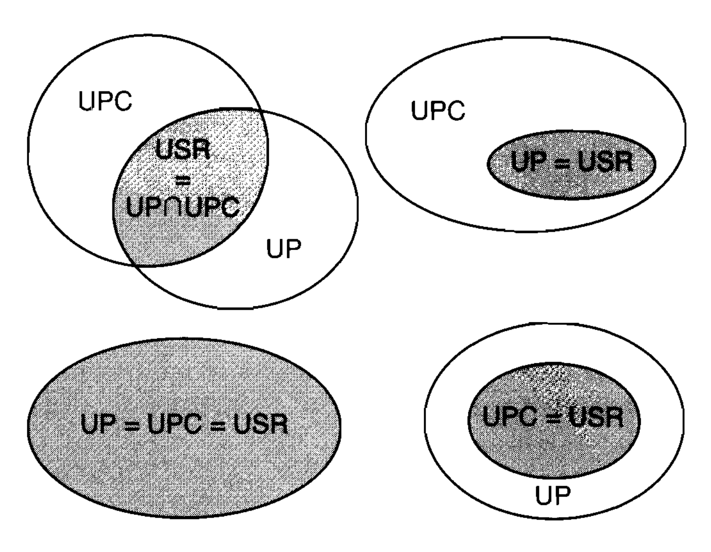


***Figure 9 :** Les différents cas de construction des USR, résultat de l'intersection des UP et des UPC.*

Lorsque les types de pratiques combinées sont peu nombreux, les UPC sont par définition très vastes : elles peuvent alors inclure totalement une ou plusieurs UP. À l'inverse, des grandes unités paysagères homogènes peuvent inclure une ou plusieurs UPC.

L'USR hérite des attributs de l'UP (notamment les ressources produites par type d'occupation du sol) et de l'UPC (notamment les surfaces relatives des différents types d'occupation du sol) qui la constituent.

Elles sont à une échelle spatiale qui les affranchit de la variabilité annuelle de l'affectation parcellaire (*land use*).

Un exemple d'une carte des USR construite en zone agropastorale sahélienne est présenté dans la **figure 10**.

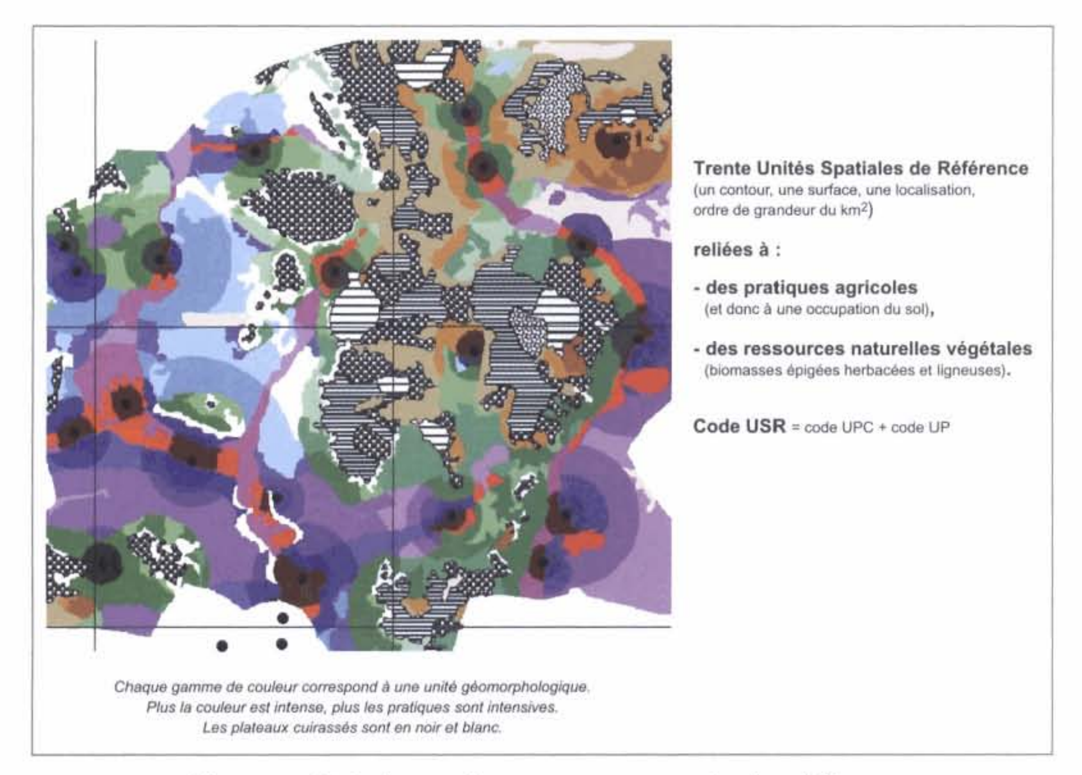


***Figure 10 :** Carte des USR dans une zone agro-pastorale sahélienne, observatoire ROSELT/OSS de Dantiandou (Niger).*
(d'après Loireau, 1998)

La carte des USR ainsi réalisée sert de support pour l'échantillonnage et le positionnement des stations permanentes de surveillance des ressources de l'observatoire. Chaque classe d'USR constitue en effet à ce stade une " strate d'échantillonnage " dont toutes les unités cartographiques (polygones) ont les mêmes attributs (caractéristiques), quelle que soit leur localisation sur le territoire

de l'observatoire. Durant le cycle de vie de l'observatoire, deux types de mesures sont ainsi réalisés pour la quantification des ressources :

- Des campagnes phyto-écologiques quadriennales pour évaluer les ressources sur l'ensemble des unités paysagères (phase diagnostic),
- Une surveillance annuelle sur un sous-ensemble de stations permanentes, situées selon la stratification du territoire en USR.

Intégration du multi-usages sur les USR

Principes généraux de la méthode

Les observatoires ROSELT/OSS sont généralement situés dans des zones où les ressources naturelles renouvelables sont prélevées de façon simultanée ou successive pour divers usages, dont les principaux sont agricoles, pastoraux, forestiers. Ce multi-usages des ressources naturelles par les sociétés est rapporté sur les espaces communs d'utilisation de l'espace et des ressources, les unités spatiales de référence (USR). Les objectifs de cette intégration des usages multiples consistent à :

- établir un bilan spatialisé ressources-usages sur les USR, qui tienne compte de l'ensemble des usages des ressources sur le territoire de l'observatoire pour la période considérée ;
- en déduire un risque de dégradation des ressources sur les USR ;
- simuler des prospectives selon des pas de temps et/ou des scénarios d'évolution prédéfinis.

Le principe méthodologique consiste tout d'abord à élaborer des modèles distincts, afin de spatialiser, d'une part, les prélèvements et, d'autre part, les disponibilités, pour chaque activité d'exploitation significative des ressources naturelles. Ils sont ensuite superposés (voir paragraphe suivant).

Concernant l'activité structurante de l'observatoire, ce modèle a déjà été élaboré pour construire les UPC. Pour les autres activités identifiées, des règles simples de spatialisation sont définies d'après la connaissance du fonctionnement de cette activité sur l'observatoire (cf. ROSELT/OSS CT3, 2004).

Détermination des bilans ressources/usages sur le territoire des observatoires ROSELT/OSS

Principes généraux

Le bilan ressources-usages consiste à calculer la différence entre la quantité de ressources naturelles disponibles (disponibilités) et la quantité prélevée par les groupes sociaux. Ce bilan est un nouvel attribut des USR ; il exprime l'état d'équilibre

ou de déséquilibre entre disponibilités et prélèvements pour une période donnée. C'est une donnée calculée par l'outil SIEL, pour les ressources végétales, soit par usage, soit pour tous les usages (bilan multi-usages) (**Figure 11** ; cf. ROSELT/OSS CT3, 2004).

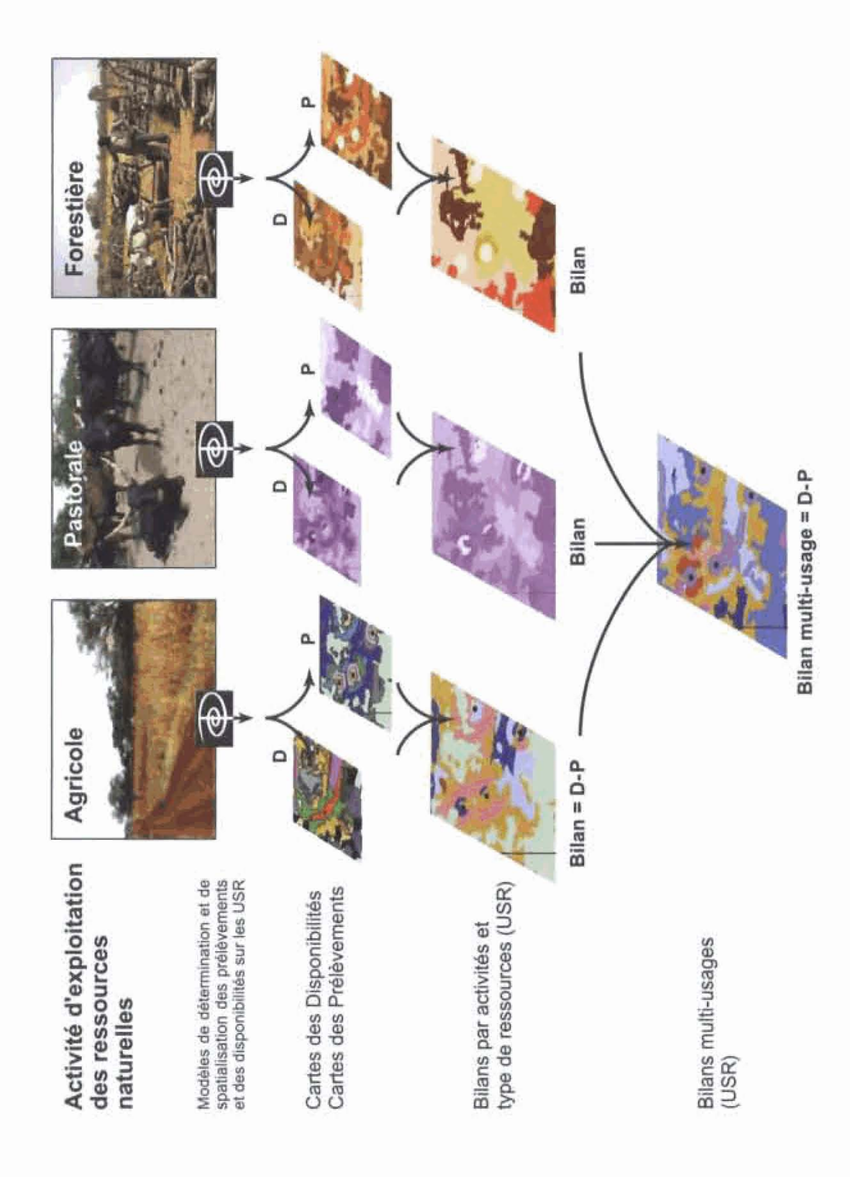


Figure 11 : Étapes de construction des bilans spatialisés ressources/usages dans les observatoires ROSELT/OSS.

En ce qui concerne les autres ressources (sols, eau), le calcul du " bilan ", tel qu'il est proposé ici, n'est pas immédiatement et systématiquement applicable à l'échelle de l'USR et aux échelles de temps considérées. Il fait en effet appel à des processus intervenant à plusieurs échelles spatiales (érosion, recharge de nappes, par exemple) qui se prêtent mal à une extrapolation directe. La notion de " prélèvement " est pour cette raison délicate à définir au seul niveau des USR.

Les états de ces ressources en eau et en sols sont bien des données d'entrée du SIEL (carte de qualité de sols, localisation et fonctionnalité des points d'eau, par exemple). L'impact des usages sur ces ressources peut être évalué en termes de risques et constitue à ce titre un produit du SIEL (cf. p. 39).

Ces bilans ressources/usages sur les USR constituent les informations cartographiques les plus complètes et les plus fines en termes d'échelle spatiale (USR) produites par l'outil SIEL. En effet, chaque **USR " courante "** (unité cartographique localisée sur le territoire de l'observatoire) dispose, d'une part, d'attributs communs à la classe USR déterminée par la structuration du territoire (notamment la disponibilité des ressources) et d'autre part, d'attributs spécifiques calculés en fonction de son positionnement géographique et de la distribution spatiale des prélèvements liés aux différents usages (attributs : prélèvements, bilan). Pour faciliter l'interprétation de ces informations, des indices de risque de dégradation des ressources sont proposés (cf. p. 39).

Détermination et spatialisation des prélèvements

L'objectif est ici de déterminer la quantité de ressources prélevée par unité de surface (" densité ") pour chaque usage, puis de la rapporter aux USR afin d'aboutir aux bilans multi-usages recherchés sur des espaces communs.

Deux jeux de données sont indispensables pour ce faire :

1) **Les prélèvements** de ressources naturelles (quantité, qualité), selon chacun des usages considérés, effectués par le ou les groupes d'agents rattachés à chaque centre d'activités, pour la période considérée.
   La quantification de ces prélèvements et leur répartition spatiale par centre d'activités s'effectue selon des relevés de terrain spécifiques (enquêtes, mesures : cf. ROSELT/OSS CT2, 2004). Le prélèvement est calculé pour chaque centre d'activités : il est fonction de la taille des groupes d'agents reliés à ce centre et de leur niveau de consommation. Le niveau de consommation est une valeur fixe appliquée à l'observatoire pour une période donnée (" constante d'observatoire " : kg de matières sèches par UBT, ou kg de matières sèches par personne).
   Les méthodes de mesure de prélèvements des ressources sont harmonisées dans le réseau.

2) Les **aires de prélèvement** autour des centres d'activités.
   Ces aires de prélèvements sont déterminées pour les activités autres que l'" activité structurante " de l'observatoire. Il s'agit de zones auréolaires

autour d'un ou de plusieurs centres d'activités. Leur rayon est déterminé à partir d'enquêtes sur le terrain. Les aires obtenues peuvent se chevaucher.

Avec les jeux de données préparés, les traitements suivants sont réalisés :

1) La quantité de prélèvements est rapportée à la superficie de l'aire de prélèvement ; ce qui donne une densité de prélèvements.
2) Cette densité est répartie sur tout ou partie des surfaces des USR que l'aire de prélèvement recoupe. Cette répartition se fait soit de manière homogène (la même densité quelque soit le type d'USR), soit selon des indices de préférence (la densité est pondérée en fonction de l'intensité relative du prélèvement sur l'USR). Ces règles sont déterminées à partir des informations collectées spécifiquement sur le territoire de l'observatoire.
3) La quantité totale de prélèvements sur une USR courante est calculée en faisant la somme des densités de prélèvements des aires de prélèvements intersectées. Il détermine la densité de prélèvements sur l'USR courante.

La détermination et la spatialisation des prélèvements ne sont réalisés qu'une fois, pour la période considérée, soit en référence à un fonctionnement annuel (cas pour l'activité agricole à une seule récolte annuelle), soit en référence à un fonctionnement saisonnier (cas général pour l'activité pastorale).

Les produits issus de l'ensemble de cette démarche constituent les **cartes de prélèvements** du SIEL.

Détermination et spatialisation des disponibilités

Les ressources produites sont des attributs des unités paysagères et donc, par héritage, des USR.

La part disponible de ces ressources, pour chaque usage considéré, est déterminée à partir des connaissances acquises sur les modes d'utilisation des ressources par les sociétés (cf. ROSELT/OSS CT2, 2004).

En ce qui concerne les ressources végétales naturelles (qui ne comprennent donc pas les produits agricoles), le calcul de la " part disponible " prend en compte les catégories suivantes, en fonction des différents usages :

- *Disponibilité liée à l'activité agricole* : la végétation extraite dans les jachères ou friches au moment de la remise en culture (défrichement par le feu : écobuage... ; ou par la hache : utilisation des ligneux pour divers usages...).
- *Disponibilité pastorale* : cumul de la part consommable de la biomasse herbacée et de la part consommable et accessible de la biomasse des ligneux par type d'occupation des sols : cultures, jachères, friches, parcours, forêts.
- *Disponibilité forestière* : biomasse ligneuse par type d'occupation des sols.

Les produits issus de l'ensemble de cette démarche constituent les **cartes de disponibilités** du SIEL.

Détermination d'indices de risque de dégradation de ressources et de désertification

À partir des attributs des USR, des indices sont élaborés pour rendre compte du risque de dégradation des ressources naturelles, en rapport avec chaque activité, ou en rapport avec l'ensemble des activités (multi-usages).

Il faut à cet effet rappeler qu'une activité isolée (ex : surexploitation agricole) peut à elle seule conduire à la dégradation des ressources utilisées, voire éventuellement à la dégradation des terres (diminution de la capacité de production biologique) et à la désertification. Le multi-usages peut augmenter le risque de dégradation, ou au contraire améliorer la gestion des ressources et donc diminuer ce risque (cf. préambule).

- ***Pour la ressource végétale*** et chaque usage, deux types d'indice, dit " de risque ", sont proposés dans l'outil SIEL (cf. ROSELT/OSS CT3, 2004) :

1) **L'indice de prélèvement absolu (IPA)** : c'est le rapport entre les prélèvements (P) et les disponibilités (D) pour une USR donnée :

$$\mathbf{IPA_i = (P_i/D_i)}$$

pour l'USR_i courante

2) **L'indice de prélèvement relatif (IPR)** : il pondère l'indice de prélèvement absolu par le rapport de la moyenne des prélèvements sur toutes les USR (Pg) ou sur toutes les USR de même type que l'USR courante (Pu) et la moyenne des disponibilités sur toutes les USR (Dg) sur l'observatoire.

$$\mathbf{IPRg_i = (P_i/D_i)/(P_g/D_g) \text{ et } IPRu_i = (P_i/D_i)/(P_u/D_u)}$$

pour l'USR_i courante

L'IPA peut être considéré comme un indice de risque de dégradation de la ressource végétale. Il mesure une pression sur l'environnement par rapport à la ressource (ici végétale). Il est absolu dans le sens où son calcul est réalisé sur chacune des USR sans référence au fonctionnement d'ensemble de l'observatoire. Il est donc comparable d'un observatoire à l'autre. Quelle que soit la disponibilité des ressources, un quotient supérieur à un exprime potentiellement pour cette unité un

prélèvement supérieur à la disponibilité, ce qui explique le risque. Plus la valeur de l'indice est élevée, plus le risque est grand.

L'IPR donne une information sur la distribution relative de cette pression à l'échelle de l'observatoire (IPRg) ou par type d'USR (IPRu). Il peut être considéré comme un indice d'homogénéité du risque dégradation de la ressource végétale. S'il est égal à un, il indique que l'USRi courante est dans la moyenne du comportement de l'observatoire ou de la classe d'usr correspondante. S'il est inférieur ou supérieur à un, le comportement de l'USRi s'écarte de la moyenne : sur- ou sous-exploitation relative. Cet indice relatif n'est donc pas directement comparable d'un observatoire à l'autre.

Un indice multi-usage est obtenu par la combinaison des indices liés aux différents usages.

Pour faciliter l'utilisation de ces produits cartographiques, les indices sont calculés sur les USR, puis représentés selon le découpage administratif local : terroir villageois, communes, etc.

- ***Pour les autres ressources (eau, sol**,...)*, l'impact des usages est traduit en terme de risque de dégradation, rapporté à chaque USR en fonction de ses caractéristiques propres. Les indices de risque sont inférés à partir des connaissances sur les processus systémiques générés dans le cadre d'études connexes.

La combinaison de ces indices sur les USR est rendue possible par leur mode de construction d'unités spatiales de **référence à...** différentes thématiques : géomorphologie, pédologie et écologie (UP), systèmes agraires, démographie, etc.

Les modalités de calcul et d'intégration de ces indices doivent encore faire l'objet de réflexions approfondies au sein du réseau ROSELT/OSS, au fur et à mesure de la déclinaison du SIEL dans les différents observatoires.

Simulations prospectives

Les produits élaborés dans le SIEL pour une période donnée (bilans, indices de risque de dégradation) rendent compte du fonctionnement d'un observatoire pour cette période, et donc des tendances à la dégradation, locale ou généralisée à l'ensemble du territoire.

L'interprétation de ces tendances constitue en soi un outil d'aide à la décision. L'exploration de ces tendances, à travers des simulations prospectives, augmente la capacité d'aide à la décision, notamment en répondant à la question : « *Que se passe-t-il si...?* »

L'évolution des changements environnementaux et sociétaux ainsi que les risques de désertification sont évalués selon deux procédures :

1) une simulation instantanée sur une période donnée, fondée sur un simple changement de valeur des paramètres de forçage (population, climat) ;

2) une simulation dynamique, sur plusieurs itérations (par exemple, par périodes de quatre ans), fondée sur des courbes d'évolution des paramètres de forçage.

La surveillance à long terme permettra de confronter les résultats des simulations aux données collectées, et ainsi de valider ou réajuster les modèles mis en œuvre dans le SIEL.

*

*   *

Mise en œuvre du SIEL – ROSELT/OSS

Conception de l'outil

Concepts " objets " et " éléments " du formalisme UML

Pour apporter les éléments nécessaires au développement du SIEL, il a été jugé indispensable, dès les premiers travaux menés par Gayte *et al.* (1997), de s'appuyer sur une méthode de conception adaptée. La méthode privilégiée est l'approche par **objet**.

Par la suite, la coordination régionale ROSELT/OSS de Montpellier s'est appuyée sur ces travaux, portant sur un jeu de données et un territoire particulier (Loireau, 1998), pour proposer des éléments de conception s'attachant à décrire une configuration adaptable à tous les territoires d'observatoires ROSELT/OSS.

Cette approche, initiée sur un observatoire du Niger, a été le point de départ pour définir les utilisateurs et les besoins d'un tel outil. Elle s'appuie sur un modèle général de données qui peut être développé et complété selon les particularités de chaque observatoire.

Des éléments d'explication du formalisme UML (*Unified Modelling Language*), utilisé pour décrire les principaux modèles au niveau conceptuel, sont donnés ci-dessous et précisés en annexe 1.

L'**approche objet** (méthodes et langages) s'appuie sur la perception d'entités (exemple : une parcelle agricole, un propriétaire) du monde réel dont on peut donner une représentation en termes de structure et de comportement. Le but de la modélisation est de décrire les **objets** et les **relations pouvant exister entre eux**.

L'**objet** est une représentation abstraite d'un monde réel ou abstrait ; c'est une unité formée d'un état et d'un comportement. L'état d'un objet est constitué des valeurs instantanées de ses attributs. Les attributs sont des valeurs qui sont associées aux objets (ex : " biomasse " est un attribut d'un objet " unité paysagère "). Le comportement est décrit par ce que l'on appelle des méthodes, ou opérations déclenchées par des stimulations externes appelées messages. Dans la modélisation objet, l'objet est une chose précise évoluant dans le temps suivant ses attributs et comportements. L'ensemble des objets ayant une structure similaire sera appelé " classe d'objet ".

Une **classe d'objets** décrit un groupe d'objets ayant les mêmes propriétés et les mêmes comportements (mêmes attributs et même ensemble de méthodes) afin d'en faciliter la gestion. En formalisme UML, le diagramme d'une classe présente dans une forme rectangulaire son nom, ses attributs, ses opérations.

Les classes peuvent être reliées entre elles, exprimant ainsi des liens pouvant exister entre les objets. On peut distinguer, parmi les relations proposées par le formalisme UML (cf. **Figure 13**, p. 46) :

- L'*association simple* qui caractérise une dépendance entre classes, une nécessité de communiquer.
- La *généralisation/spécialisation* qui lie une super-classe à des sous-classes : la super-classe généralise la structure de sa (ou de ses) sous-classe(s). *L'héritage est un autre terme donné à cette relation du point de vue de la sous-classe.* Il permet à une classe d'objets (sous-classe) de réutiliser les attributs et les opérations (méthodes) définis pour une classe plus générale (super-classe).
- L'*agrégation* (losange) /*composition* permet de décrire un objet composite en termes d'objets qui le constituent.

Toutes ces relations sont des associations de type simple ou complexe.

Classes, associations, généralisation/spécialisation, agrégation/composition sont représentées dans des diagrammes structurels nommés **diagrammes de classes**.

Les objets du système communiquent et interagissent entre eux par envoi de messages. Un envoi de message correspond à l'invocation d'une opération sur l'objet concernée et peut provoquer une réaction de celui-ci.

Les **modèles de " cas d'utilisation "** (*use case*) dans le formalisme UML servent à saisir le comportement attendu des acteurs en interaction au sein d'un système (**Figure 12**).

Ils permettent de définir et structurer les besoins des utilisateurs et ainsi d'adapter la définition de l'architecture du système à la satisfaction (réalisation) de ces besoins. Ce sont les acteurs qui déclenchent les cas d'utilisation. De manière générale, un système d'information distingue deux grands types d'utilisateurs qui interagissent avec le système : le fournisseur de données qui crée de la donnée et peut la modifier, et le consommateur qui consulte les données.

Identification des besoins et description des services

La modélisation des besoins et services et des acteurs qui interagissent sur un système est essentielle pour structurer l'expression des besoins des utilisateurs d'un système et assurer une bonne visibilité de l'architecture du système à mettre en place. Concernant le SIEL, l'identification des besoins et services s'appuie sur le modèle de cas d'utilisation présenté sur la **figure 13**. La modélisation présentée est délibérément très générale. Elle s'attache à mettre en évidence les interactions des trois acteurs principaux avec le SIEL et leurs utilisations de l'outil. Ils sont classés en deux catégories :

1) les **experts du système** qui correspondent au binôme informaticien-thématicien de chaque observatoire. Ces deux acteurs seront les utilisateurs avertis du SIEL et, à ce titre, l'utilisent dans toute sa palette de fonctionnalités : de la gestion des données au choix de la représentation

des résultats, jusqu'à l'élaboration des calculs de bilan ressources/usages, au paramétrage des modèles et à l'élaboration des scénarios prospectifs (formulation d'hypothèses d'évolution des systèmes étudiés et de leur interactions) ;

2) les **non-experts du système** qui correspondent aux acteurs du développement, qu'ils soient bailleurs ou organismes de gestion des ressources naturelles. Ils interagissent avec le SIEL seulement à travers la simulation de scénarios prospectifs (y compris dans la formulation des hypothèses de scénarios) et la consultation – visualisation des données élaborées par l'outil.

Ce premier modèle général permet d'identifier de manière très claire les services que doit rendre le SIEL. Il préfigure déjà l'architecture logicielle à mettre en place pour aboutir aux fonctionnalités liées aux utilisations demandées par les différents acteurs. L'architecture de ses composants est décrite page 49.

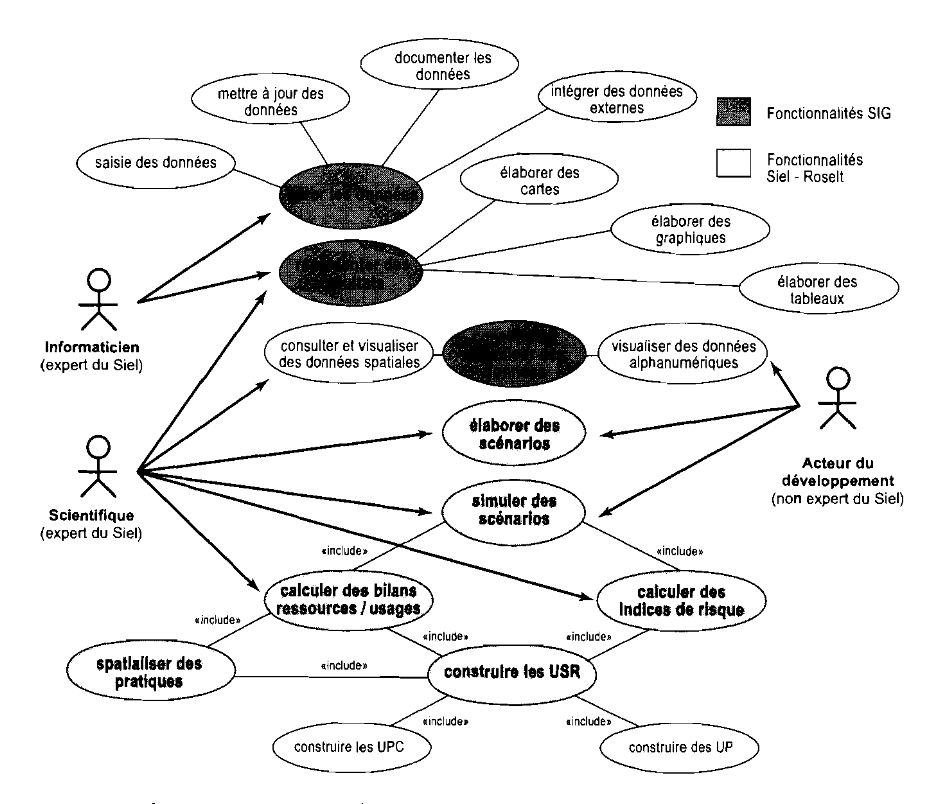


***Figure 12 :** Utilisateurs et cas d'utilisation du SIEL (diagramme de cas d'utilisation UML).*

Dans la **figure 12**, la couleur gris foncé est utilisée pour les fonctionnalités classiques de tout système d'information (« fonctionnalités techniques ») et la couleur gris clair pour les fonctionnalités spécifiques au SIEL-ROSELT/OSS ("fonctionnalités métiers ").

Modèle général de données

Le cœur du SIEL s'appuie sur un modèle de données qui organise l'information à partir de la démarche conceptuelle systémique proposée dans ROSELT/OSS. Il s'articule autour de cinq thèmes :

1) structuration du territoire de l'observatoire en unités paysagères (UP) et détermination de leurs attributs ;
2) structuration du territoire de l'observatoire en unités de pratiques combinées (UPC) et détermination de leurs attributs ;
3) structuration du territoire de l'observatoire en unités spatiales de référence (USR) ;
4) caractérisation des infrastructures sur le territoire de l'observatoire ;
5) description du dispositif pérenne de surveillance au sol.

Ces cinq thèmes représentent l'ensemble des domaines traités dans le cadre des changements environnementaux et de la désertification dans ROSELT/OSS. La structuration des données autour des différents thèmes est illustrée dans le diagramme de classes UML de la **figure 13**.

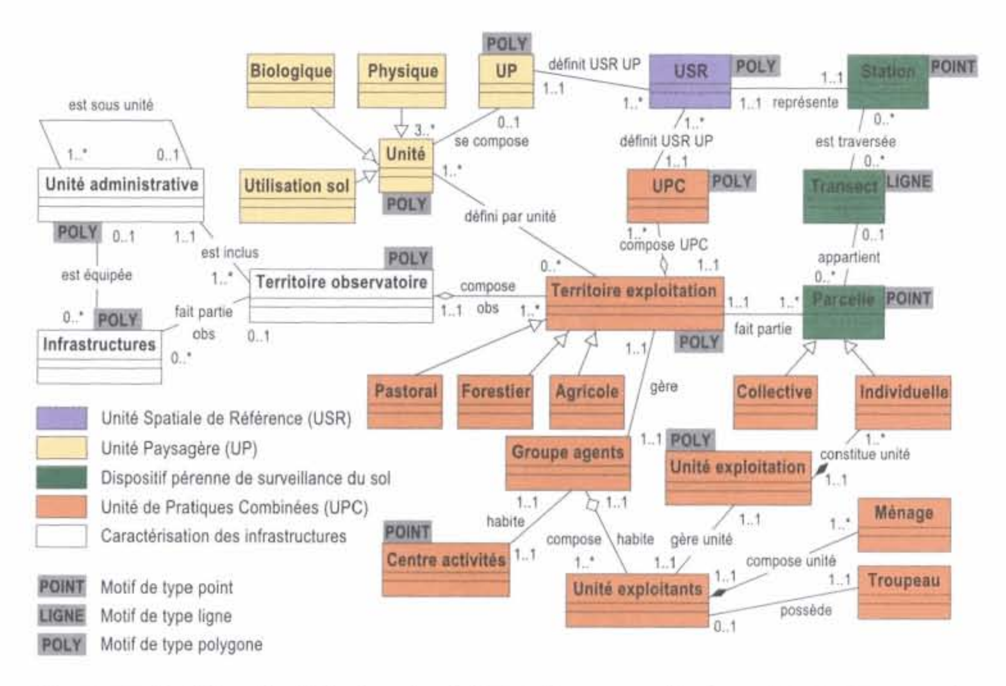


Figure 13 : *Modèle saillant de données du SIEL (diagramme de classes UML) (cf. annexe 1).*

Le thème " ***structuration du territoire en unités spatiales de référence*** " (USR) est la classe résultante du croisement des classes unité paysagère (UP) et unité de pratiques combinées (UPC). L'ensemble des calculs, liés notamment à l'élaboration

des bilans ressources/usages, s'appuie sur ce découpage spatial du territoire de l'observatoire.

Le thème " ***structuration du territoire de l'observatoire en unités paysagères*** " comprend la caractérisation des paramètres du paysage avec les classes : utilisation du sol, physique et biologique.

Le thème " ***structuration du territoire de l'observatoire en unités de pratiques combinées*** " permet de spécifier les différentes composantes des systèmes d'exploitations et leurs incidences sur l'espace et les ressources. Cela traduit notamment les liens d'appartenance des ménages à l'unité d'exploitants, des unités d'exploitants aux groupes d'habitants et des groupes d'habitants à un territoire d'exploitation ; les relations spatiales entre les parcelles agricoles composant une unité d'exploitation et leur appartenance à un territoire (et à un seul) ; les relations de gestion des ressources et de l'espace entre les unités d'exploitants et leurs unités d'exploitation, entre les groupes d'habitants et leur territoire d'exploitation (pratiques). Sont représentées les principales classes qui structurent ce thème.

Le thème " ***caractérisation des infrastructures sur le territoire de l'observatoire*** " replace, d'un point de vue spatial, le territoire de l'observatoire dans les entités administratives auxquelles son territoire appartient et permet d'y rattacher les infrastructures existantes à travers la classe " *infrastructures* ", qui pourra être spécialisée en réseau routier, piste, marché, etc.

Le thème " ***description du dispositif pérenne de surveillance au sol*** " propose une spécification du dispositif à travers les classes " *station* ", " *transect* " et " *parcelle* " qui peuvent être redéfinies et spécialisées selon les besoins de représentations des variables mesurées. Ce thème correspond aux sites de mesures (mesures biophysiques sur stations) ou d'enquêtes (enquêtes sur les pratiques d'exploitation des ressources sur parcelles agricoles, pastorales, forestières) géoréférencés (coordonnées géographiques d'une surface d'étude fixe sur le territoire de l'observatoire) sur lesquels des observations vont être répétées sur un pas de temps variable (saisonnier, annuel, tous les quatre ans, etc.).

L'association entre les classes " *station* " et " *USR* " permet de définir le lien fort qui existe entre le positionnement des stations et le découpage du territoire en USR. En d'autres termes, le dispositif physique de surveillance au sol doit respecter un échantillonnage fondé sur la carte des USR.

Pour la clarté du modèle de données, les attributs, les opérations et la dimension spatiale des classes ne sont pas représentés.

Lorsque la classe a une composante spatiale, son stéréotype (cf. **annexe 2**) est donné au-dessus du nom de la classe. Ils sont au nombre de trois. Ils correspondent aux objets géographiques génériques : le point ou objet géographique à zéro dimension, la ligne (objet à une dimension) et le polygone (objet à deux dimensions).

Définition des traitements sur l'information environnementale

Les traitements à mettre en œuvre dans le SIEL sont liés à l'élaboration des produits communs ROSELT/OSS. Pour cela, il est fondamental de décrire :

1) les procédures de calcul pour y parvenir (spécifier les données et le format à utiliser) ;
2) le mode opératoire, c'est-à-dire les modèles à produire et à utiliser ;
3) et les paramètres à introduire pour aboutir à des résultats comparables entre observatoires.

La mise en œuvre de ces traitements fait appel :

1) à des fonctionnalités propres aux systèmes de gestion des données géographiques et alphanumériques, qui sont appliquées sur les objets géographiques génériques (point, ligne et polygone) ;
2) aux procédures permettant l'insertion ou l'extraction des données à partir d'une base de données *via* un langage formel (SQL).

Au cours d'une première étape, les procédures de calcul à mettre en œuvre sont identifiées. Elles concernent principalement :

1) la construction des UPC (la construction des UP est considérée pour le moment comme un traitement effectué en amont du SIEL) ;
2) la construction des USR ;
3) le calcul des bilans ressources/usages, par usage et multi-usages ;
4) le calcul d'indices de risques de dégradation des ressources, de désertification ;
5) la simulation temporelle des éléments précédemment élaborés sur la base de paramètres généraux (population, climat, biomasse, etc.).

Dans une seconde étape, sont identifiés les objets, leurs attributs (sur lesquels doit porter chacune des procédures), ainsi que les modèles de fonctionnement ou de spatialisation assortis des paramètres qui doivent être utilisés. Cette étape s'appuie sur les travaux déjà réalisés dans les observatoires du réseau, elle s'efforce de discriminer les procédures communes et généralisables à tout le réseau, et les éléments de connaissance (algorithmes issus d'un modèle spécifique à l'observatoire traité) liés au fonctionnement d'un observatoire. Elle partage ensuite les méthodes et concepts entre les partenaires du réseau afin de discuter des adaptations à apporter selon les spécificités des observatoires.

Architecture du SIEL-ROSELT/OSS

ROSELT/OSS a proposé le développement d'un outil, à partir de l'analyse détaillée du SIEL et des spécifications qui en découlent. Il ne s'agissait pas de programmer l'ensemble des fonctionnalités, mais de s'appuyer sur des logiciels largement utilisés par la communauté à laquelle est destiné le SIEL. Les développements ont été limités aux traitements nécessaires à l'élaboration des produits ROSELT/OSS (bilans, indices de risques et scénarios) en permettant :

1) de réaliser de manière transparente les relations entre les modèles de fonctionnement et les données ;
2) de faciliter la mise en œuvre de scénarios et leur simulation ;
3) d'assurer aisément le paramétrage des différents calculs mis en œuvre pour l'élaboration des produits.

Composants et architecture du SIEL

En s'aidant des besoins identifiés à travers le modèle de cas d'utilisation et le modèle de données à implémenter, une architecture du système et ses principaux composants sont définis (**Fig. 14**).

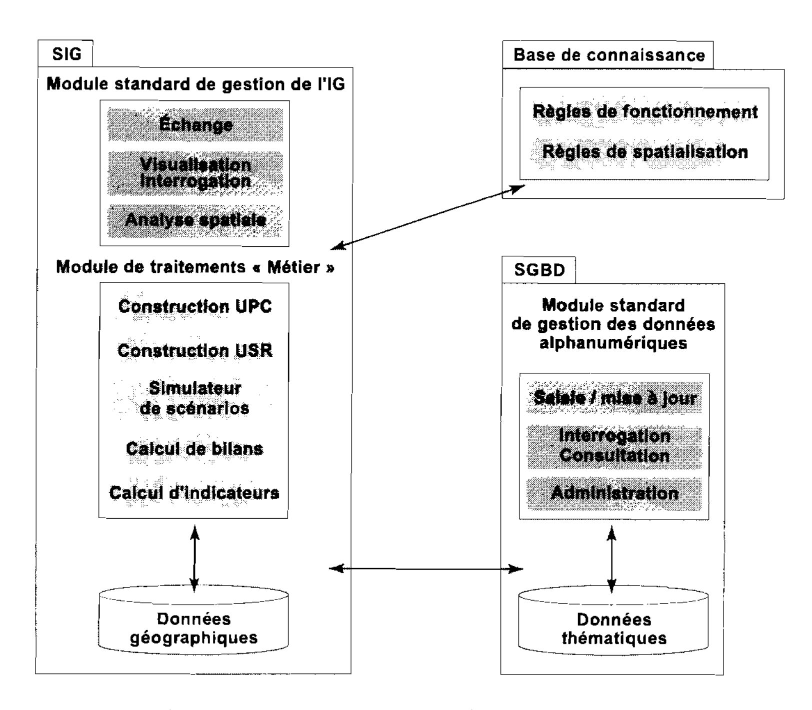


Figure 14 : Composants et architecture du SIEL.

Trois grands composants sont distingués :

1) Le **composant SIG** ou outil de gestion de l'information géographique, qui comprend les modules de gestion, de visualisation et d'analyse spatiale (croisement, agrégation, re-classification, etc.) des données géographiques. Il s'agit des fonctionnalités propres au SIG, présentes dans la majorité des progiciels SIG du marché.
Il comprend également des modules " *métier* " propres à l'application à mettre en œuvre dans le cas du SIEL. Ces modules sont implémentés dans le SIG pour offrir les fonctionnalités souhaitées, notamment la construction des objets géographiques propres à la problématique ROSELT/OSS (UP/UPC, USR), le calcul des bilans ressources/usages, l'élaboration des scénarios, leur simulation et la construction d'indicateurs de changements.
Il doit aussi assurer la liaison transparente entre la composante thématique de la donnée stockée dans le SGBD et sa composante spatiale stockée dans le SIG.

2) Le **composant SGBD** (système de gestion de base de données) permet d'implémenter le modèle de données proposé et de gérer les données alphanumériques stockées, notamment en permettant leur insertion, mise à jour et interrogation, et enfin d'assurer l'administration de la base (maintenance de la cohérence des données, etc.).

3) Le **composant " *base de connaissance* "** réunit l'ensemble de la connaissance et d'expertise de l'observatoire capitalisée sous forme de modèles, qu'il s'agisse de modèles décrivant le fonctionnement des systèmes d'exploitation ou de production des ressources ou encore de modèles de spatialisation des variables mesurées localement. Il s'agit bien d'un composant essentiel pour l'élaboration des produits ROSELT/OSS. Si les deux autres composants peuvent être généralisés à l'ensemble des observatoires, ce dernier correspond à la connaissance bien particulière liée à un territoire d'observatoire. D'un point de vue pratique, les algorithmes issus des modèles de fonctionnement devront êtres intégrés dans les modules de calcul développés dans la composante SIG.

Plate-forme système et architecture logicielle

Indépendamment des performances et de la fiabilité, la plate-forme système est un système d'exploitation Windows 2000 sur lequel se trouve le plus grand choix d'outils SIG et SGBD et qui correspond à l'environnement le plus utilisé au sein des institutions partenaires. De manière concrète, l'architecture logicielle correspond à peu près à l'architecture du système présenté ci-dessus. Elle s'articule autour de deux composants :

- **Un progiciel SIG** ayant des fonctionnalités standard permettant de :
  1) visualiser et naviguer sur les données géographiques et thématiques liées aux objets géographiques ;
  2) gérer les données géographiques : saisie, mise à jour et documentation des données ;

3) permettre le croisement, l'agrégation, la re-classification, l'analyse de voisinage sur les données vecteur et raster ;
4) importer et exporter des données vers d'autres applications aux formats standards (dxf, shape, Eoo, MIF, etc.).

- **Un progiciel SGBD** permettant l'implémentation du schéma de données et ayant des fonctionnalités standards pour assurer la gestion des données et l'administration de la base :
  1) insertion des données à partir de formulaire ;
  2) mise à jour des données ;
  3) requête sur les données à partir du langage SQL ;
  4) indexation des données ;
  5) connexion de la base vers d'autres applications dont les SIG.

Sur la base de cette architecture logicielle, les modules de traitements spécifiques à l'élaboration des produits ROSELT/OSS, ou les assistants de personnalisation disponibles dans les progiciels, sont développés en utilisant les langages de programmation.

Mise en œuvre de l'outil

Rôles des membres du réseau

Dans chaque pays membre du réseau ROSELT/OSS sont identifiés au sein de l'équipe nationale :

- un coordinateur scientifique par observatoire, qui peut être le coordinateur national dans le cas où un seul observatoire est activé ;
- un chargé des systèmes d'information, qui doit être un informaticien spécialiste SGBD/SIG identifié dans les équipes nationales.

Ces deux personnes constituent le binôme chargé de l'élaboration du SIEL sur l'observatoire dont ils ont la charge.

L'élaboration du premier SIEL (prototype) sur chaque observatoire est considérée comme une mission essentielle des observatoires. Cette mission d'élaboration nécessite un investissement scientifique réel de l'informaticien et du coordinateur scientifique désigné. Afin d'appuyer ce binôme, la coordination régionale encourage notamment le co-encadrement d'un stage longue durée ou d'une thèse entre ce binôme national ROSELT/OSS et l'équipe de la coordination régionale Montpellier, sur le thème : diagnostic scientifique du territoire de l'observatoire à travers le SIEL.

Une fois la structure minimum du SIEL élaborée et son fonctionnement minimum assuré (traitements minima vers des produits utiles pour une aide à la décision), l'investissement en temps et en coût peut être beaucoup plus léger.

L'outil proposé

Sur la base des travaux d'analyse menés par ROSELT/OSS et de la définition du cadre conceptuel présenté dans ce document, le choix a été fait d'appuyer la démarche conceptuelle proposée aux observatoires sur le développement informatique d'un prototype générique de SIEL. L'objectif visé est multiple. Il s'agit, tout particulièrement, de démontrer sur la base d'un exemple concret, comment utiliser les éléments d'analyse fournis pour aboutir à un outil opérationnel et présentant les fonctionnalités requises. L'application de la démarche conceptuelle permet, bien évidemment, de tester la pertinence et la justesse de l'analyse qui a conduit à la définition des services que doit rendre un tel outil, mais aussi de valider le schéma général de données proposé.

Le choix de l'OR de s'appuyer sur un progiciel performant et reconnu internationalement a conduit à retenir ARCVIEW 8.x sous plate-forme Windows. De conception récente, il intègre les fonctionnalités indispensables aux développements du SIEL à travers ses modules de visualisation, de traitement de l'information spatiale et d'élaboration des métadonnées. Au même titre que d'autres extensions fournies par ARCGIS, le prototype développé par l'OR se présente comme une extension s'intégrant dans l'application ARCMAP, une des applications de la distribution ARCVIEW. Les fonctionnalités souhaitées pour le SIEL sont accessibles via un menu déroulant. Le prototype utilise aussi l'application ARCCATALOG pour ce qui est de la gestion de la base de données géographique et thématique (cf. ROSELT/OSS CT3, 2004). Le but de ce prototype est de réunir les composants minimum que doit intégrer un outil commun de traitements de l'information environnementale dans le programme ROSELT/OSS.

Le SIEL-ROSELT/OSS peut être utilisé selon deux modes :

1) **Mode exploratoire** : Il s'agit, pour chaque période considérée, d'élaborer des bilans spatialisés ressources/usages à partir du fonctionnement des systèmes en action et des données collectées pendant cette période. Il est renouvelé pour chaque période d'observation ROSELT/OSS et permet d'établir un diagnostic de la situation environnementale de l'observatoire. L'étude des diagnostics successifs, dans le cadre de la surveillance à long terme, permet de mettre en évidence des tendances.

2) **Mode prospectif** : Il s'agit de faire varier les paramètres des modèles calibrés dans le mode exploratoire et de faire tourner le système sur plusieurs périodes, selon des scénarios prédéfinis. Il permet d'établir des bilans prospectifs qui fournissent des informations utiles pour une aide à la décision.

La comparaison des résultats obtenus par le " mode prospectif " sur une période donnée, et ceux obtenus par le " mode exploratoire " pour la période suivante, permet d'ajuster progressivement les modèles mis en place.

Deux étapes principales se distinguent pour la construction des bilans spatialisés ressources/usages : la structuration préalable du territoire de l'observatoire en unités spatiales de références et l'intégration du multi-usage des ressources par les sociétés sur des espaces communs. Ces étapes sont décrites dans la deuxième partie (p. 17). L'utilisation du module SIEL-ROSELT/OSS est expliquée dans le manuel d'utilisation (ROSELT/OSS CT3, 2004).

Intégration du SIEL dans le système de circulation de l'information ROSELT/OSS

Les besoins de circulation de l'information dans ROSELT/OSS sont bien identifiés. Ils doivent assurer la circulation de l'information (données, documents, événements, etc.) et sa mise à disposition pour l'ensemble des membres du programme et des partenaires.

La préfiguration de l'architecture du système de circulation de l'information est représentée sur la **figure 15** où l'on distingue l'intégration du SIEL au niveau des observatoires (cf. ROSELT/OSS CT12, 2004).

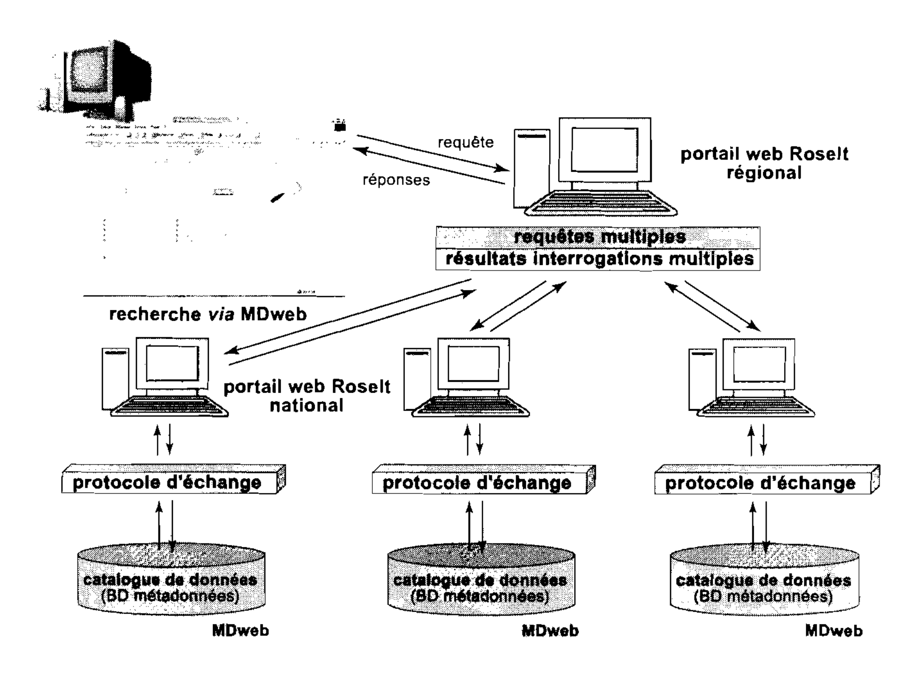


Figure 15 : *Préfiguration du système de circulation de l'information ROSELT/OSS.*

La configuration des systèmes d'information s'articule autour du SIEL-ROSELT/OSS. Ceux-ci sont physiquement localisés dans les observatoires. Dans ce cadre, le système de circulation de l'information doit assurer, en premier lieu, la consolidation des données existantes et produites dans chaque SIEL pour fournir à travers un entrepôt de données (portail Internet) une vision complète des données produites au sein du réseau et leur accès en fonction du statut de l'utilisateur qui effectue la recherche.

Le système de circulation de l'information s'articule principalement autour de deux outils qui apportent :

- un service de catalogage (ou service de métadonnées) permettant de documenter et indexer les jeux de données contenus dans chaque SIEL ;
- un service assurant la consolidation des données des SIEL par l'intermédiaire de traducteurs de données. Ce dernier doit apporter une vision globale et cohérente des données mises à disposition par les observatoires. Les services doivent être mis en œuvre en utilisant les protocoles de communication Internet.

*

* *

Références bibliographiques

AHMED Y.J. and KASSAS M., 1987 – *Desertification : Financial Support for the Biosphere.* Hodder and Stoughton, London, UK.

AUBREVILLE A., 1949 – *Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale.* Société d'Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris, France.

Banque mondiale, 1992 – *Rapport sur le Développement dans le Monde.* Banque Mondiale, Washington D.C.

Banque mondiale, 1998 – *Nouvelles opportunités de développement : la Convention sur la Lutte contre la Désertification*, Washington, 54 p.

BARROW C.J., 1994 – *Land degradation.* Cambridge University Press, 295 p.

BONN F. et ESCADAFAL R., 1996 – « La télédétection appliquée aux sols ». *In* : Bonn F. (éd.) : *Précis de télédétection, vol.2*, PUQ/AUPELF, Québec : 92-136.

BOULDING K.E., 1956 – *General System Theory* . Management science, Evril.

BRUNET R., FERRAS R., THERY H., 1992 – *Les mots de la géographie : dictionnaire critique.* GIP RECLUS, coll. Dynamiques du territoire, Montpellier, et La Documentation Française, Paris, France.

CASTELLANI X., 1987 – *Méthode générale d'analyse des applications informatiques* – Tome 0. Macro-analyse, étude préalable et analyse conceptuelle des systèmes d'information. Éd. Masson, 675 p.

CASTRI F. di et YOUNES T., (ed.), 1990 – Ecosytem function of diversity. *Biology International, issue* 22, IUBS, Paris.

CHAMBERS R., 1990 – *Développement rural, la pauvreté cachée.* Karthala, Paris.

Commission des Communautés Européennes (CCE), 1984 – *Une image à long terme de l'Afrique au Sud Sahara.* Éd. Commission des Communautés Européennes, Caisse des Dépôts et Consignations, résumé : 19 p.

CORNET A., 2002 – « La désertification à la croisée de l'environnement et du développement. Un problème qui nous concerne ». *In* : Barbault R., Cornet A., Jouzel J.,. Megie G., Sachs I. et Weber J (éd.) : *Johannesburg. Sommet Mondial du Développement durable. Quels enjeux, quelle contribution des scientifiques ?* : 93-133. Ministère des Affaires Étrangères, ADPF, Paris.

CORNET A. et HAINNAUX G., 1995 – « Face aux évolutions du monde rural tropical et aux enjeux du développement, quelques pistes pour la recherche ». *In : Recherche pour une agriculture tropicale viable à long terme.* C.R. Acad. Agriculture, vol. 80, n° 8 : 195-208.

Commission for Sustainable Development (CSD), 1996 – *Report of expert workshop on méthodologies for indicators of sustainable developpement.* Glen Cove, Long Island, New York.

DEFFONTAINES J.-P., 1986 – « Un point de vue d'agronome sur le paysage ». *In : Lectures du paysage*, coll. INRAP : 33-52.

De ROSNAY J., 1975 – *Le macroscope.* Coll. essais, Le Seuil, 346 p.

d'HERBÈS J.-M., GAYTE O., LOIREAU M., 1997 – *SIE-ROSELT. Bases conceptuelles et organisationnelles pour la création de Systèmes d'Information sur l'Environnement adaptés aux besoins du programme ROSELT de l'OSS. Développement d'un SIE-ROSELT local à partir du territoire de l'observatoire de Banizoumbou, Niger.* ORSTOM, IARE, OSS, Montpellier, 34 p.

d'HERBÈS J.-M. et LOIREAU M., 2000 – « *Espaces, Ressources, Usages : proposition méthodologique pour le suivi de la désertification dans le cadre du réseau ROSELT/OSS. In* : actes du séminaire international MEDENPOP 2000, Jerba, Tunisie, 10 p.

DOBIE Ph., 2001 – Poverty and the drylands. *In : Global Drylands Imperative.* Challenge paper, UNDP, Nairobi (Kenya), 16 p.

DREGNE H.E., 1983 – Desertification of arid lands. *Avances in arid land technology and development*, 3, Harwood Academic Publishers, 242 p.

DREGNE H.E. et CHOU NAN-TING, 1993 – « Global Desertification dimensions ». *In :* Dregne H.E. (ed.) : *Degradation and Restoration of Arid Lands*, Int. Center for Arid and Semiarid Studies, Texas Tech. Univ., Lubbock, Texas, U.S.A. : 249-282.

FLORET Ch. et PONTANIER R., 1982 – *L'aridité en Tunisie présaharienne : Climat, sol, végétation et aménagement.* ORSTOM, coll. Travaux et documents, n°150, Paris, 544 p.

FLORET Ch., LE FLOC'H É., PONTANIER R., 1992 – « Perturbations anthropiques et aridification en zone pré-saharienne ». *In* : Le Floc'h É., Grouzis M., Cornet A. et Bille J.-C., (éd.) : *L'aridité une contrainte au développement.* ORSTOM, coll. Didactiques, Paris : 449-466.

FRONTIER S., 1999 – *Les écosystèmes.* Coll. Que sais-je ?, 127 p.

GAYTE O., d'HERBÈS J.-M., LOIREAU M., 1997 – « Apport de la conception par objet pour l'élaboration des Systèmes d'Information sur l'Environnement. Application au programme ROSELT ». *In : Conférence Européenne sur les Technologies de l'Information pour l'Environnement.* Strasbourg, Geiger W., Jaeschke A., Rentz O., Simon E., Sprengler Th., Zilliox L. et Zundelm T. (éd.), vol. 1 : 296-305.

GAYTE O., LIBOUREL T., CHEYLAN J.-P., LARDON S., 1997 – *Conception des systèmes d'information sur l'environnement.* Collection Géomatique, Éditions Hermès, Paris, 153 p.

GCRAI (Groupe Consultatif de la Recherche Agronomique Internationale), **1994** – *Sustainable agriculture for a food secure word. A vision for the CGIAR*, 28 p. multigr.

GEF, 1995 – *Scope and preliminary operational strategy for Land Degradation.* GEF CouncilMeeting Washington D.C., 22-24 February 1995, 21 p.

GLANTZ M.H. et ORLOVSKY N., 1983 – Desertification : A review of the concept. *Desertification Control Bulletin*, 9 : 15-22.

JANICOT S., 1996 – Le point sur la désertification et les changements climatiques. *Connaissance de la météorologie* n°4, MÉTÉO FRANCE, 15 p.

JOUVE Ph. (éd.), 2001 – *Prise en compte de la désertification dans les projets de développement.* Rapport à l'AFD, Paris.

KATYAL J.-C. et VLEK P.L.G., 2000 – *Désertification : concept, causes and amelioration.* ZEF, discussion papers on development policy, n° 33, Bonn, 65 p.

LAMPHREY H.F.,1975 - *Report on the Desert Encroachment Reconnaissance in Northern Sudan, 21 October to 10 November 1975.* Report of 1975 published as an article in 1988, *Desertification Control Bulletin,* 17 : 1-7.

LAVAUDEN L., 1927 – Les forêts du Sahara. *Rev. des Eaux et Forêts,* LXV (6) : 265-277 ; (7) : 329-341.

LE FLOC'H É., 1996 – *Desertification in the Near East Région, perpectives, strategies and plan of action.* IATF Meeting on désertification, 27 p.

LE FLOC'H É., GROUZIS M., CORNET A., BILLE J.C., (éd.), 1992 – *L'aridité, une contrainte au développement.* ORSTOM, coll. Didactiques, Paris, 597 p.

Le Houérou H.-N., 1968 – La désertisation du Sahara septentrional et des steppes limitrophes. *Annales algériennes de Géographie,* n°6 : 2- 27.

LE HOUÉROU H.-N., 1993 – « Evolution climatique et désertisation ». *In* : André J.-C., Fellous J.-L. et Podaire A. (éd.) : *Les climats subtropicaux et leur évolution,* CNES, Toulouse : 639-668.

LE HOUÉROU H.-N., 1995 – *Climate change drought and desertification.* Intergovernmental Panel on climate change (IPCC), Working group II : Adaptation and mitigation, 53 p.

LE MOIGNE J.-L., 1984 – *La théorie du système général.* PUF.

LOIREAU M. et d'HERBÈS J.-M., 1997 – « Des unités spatiales de référence pour l'étude de la dynamique des relations ressources-usages dans la zone agro-pastorale du Sahel nigérien ». *In* : Auclair L., Gubry P., Picouët M. et Sandron F. (éd.) : *Régulations démographiques et Environnement.* VIèmes journées démographiques de l'ORSTOM, Paris, 22-24 september 1997. IUBS, CEPED, LPE : 45-51.

LOIREAU M., 1998. – *Espaces-Ressources-Usages : spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien.* Doctorat de Géographie de l'Université Paul Valéry, Montpellier III, 411 p.

MAINGUET M., 1994 – *Desertification – Natural Background and Human Mismanagement.* Springer-Verlag, Berlin, Germany.

MAINGUET M., 1995 – *L'Homme et la sécheresse.* Coll. Géographie, Masson, Paris, 335 p.

OSBORN H.F., 1948 – *Our plundered planet.* Faber and Faber (eds.), Londres, 192 p.

Oss (Observatoire du Sahara et du Sahel), 1996 – *Process and impact indicators for the convention to combat désertification.* A report prepared for the Interim Secretariat of the Convention to Combate Desitification. Second Draft, june 1996, 12 p.

PONTANIER R., M'HIRI A., ARONSON J., AKRIMI N., LE FLOC'H É. (éd.), 1995 – *L'Homme peut-il refaire ce qu'il a défait?* Colloques et Congrès, Science et changements planétaires/ Sécheresse. John Libbey, Paris, 455 p.

PRELAZ-DROUX R., 1995. – *Système d'information et gestion du territoire : approche systémique et procédure de réalisation.* Collection META, Presses Polytechniques et Universitaires romandes, 156 p.

RAPP A., 1974 – A Review of Desertification in Africa. Secretariat for International Ecology, ***ed.*** *Water, Vegetation and Man*, Stockholm, Sweden.

ROCHETTE R.M. (éd.), 1989 – *Le Sahel en lutte contre la désertification. Leçons d'expériences.* CILSS, PAC, GTZ, Berlin, 592 p.

ROZANOV B. G., 1982 – « Assessing, monitoring and combatting desertification ». *In : Desertification and soils policy.* Transactions of the 12th Congress of soil science, symposia papers, III : 56-66.

RUBIO J.-L. et BOCHET, E., 1998 – Desertification indicators as diagnostic criteria for desertification risk assessment in Europe. *Journal of Arid Environments*, 39 : 113-120.

SACHS I., 1992 – Transition strategies for the 21st century. *Nature & Ressources*, vol. 28, n° 1 : 4-17.

SCOPE, 1995 – *Report on scientific workshop on indicators of sustainable developpement.* Wuppertal, Germany, nov. 1995.

SMITH O.B. et KOALA S., 1999 – *La Désertification : Mythes et réalités.* CRDI Ottawa (Canada), 13 p.

THORNES J.B. and BURKE S., 1999 – *The physical and human dimensions of desertification.* Report of the Workshop sessions, King's College, London, 115 p.

TOULMIN C., 1993 – Lutter contre la désertification : réflexion préliminaire à une convention mondiale. *Drylands Programme, IIED, dossier* n°42, 52 p.

TUBIAN L., 1999 – *Le Développement Durable dans la politique extérieure de la France.* Rapport de Mission, Paris, 179 p.

TUCKER C.J., DREGNE H.E., NEWCOMB W.W., 1991 – Expansion and contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990. *Science*, 253 : 299-301.

UNEP, 1992 – *World Atlas of Desertification.* Edward Arnold, Sevenoaks, UK.

WARREN A. et AGNEW C., 1988 – Une analyse de la désertification et dégradation des terres en zones arides et semi-arides. *Drylands Programme, IIED, document n° 2*, 28 p.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

Tableaux

ANNEXES

Annexe 1 : Concepts " objets " et " éléments " du formalisme UML

L'approche " objet " (méthodes et langages) s'appuie sur la perception d'entités (exemple : une parcelle agricole, un propriétaire) du monde réel dont on peut donner une représentation en termes de structure et de comportement. Le but de la modélisation est de **décrire les objets et les relations pouvant exister entre eux**.

L'objet est une représentation abstraite d'un monde réel ou abstrait ayant des limites très claires et un sens précis dans le contexte du problème. Il permet la décomposition d'un problème complexe en sous problèmes plus simples au niveau modulaire et au niveau manipulation de l'information. Il est donc très adapté à notre façon de résoudre un problème en décomposant en sous problèmes, etc. L'objet est une unité formé d'un état et d'un comportement. L'état d'un objet est constitué des valeurs instantanées de ses attributs. Les attributs sont des valeurs qui sont associées aux objets (ex : " couleur " est un attribut d'un objet " voiture "). Le comportement regroupe les compétences de l'objet. Ce comportement est décrit par ce que l'on appelle des méthodes, ou opérations déclenchées par des stimulations externes appelées messages. Le terme " objet " peut être vague. Dans le monde réel, un objet peut représenter un ensemble de choses similaires. Dans la modélisation objet, l'objet est une chose précise évoluant dans le temps suivant ses attributs et comportements. On utilisera donc l'expression " instance ". En contre partie, l'ensemble des objets ayant une structure similaire sera appelé " classe (d'objet) ". L'instanciation est la faculté qu'a une classe à créer un objet, *i.e.* une instance d'elle même.

Une classe d'objet est une définition ou spécification d'un type d'objet. Elle décrit un groupe d'objets ayant les mêmes propriétés et les mêmes comportements (mêmes attributs et même ensemble de méthodes) afin d'en faciliter la gestion. Les classes sont les maquettes des objets. Chaque objet connaît sa classe et le regroupement des objets en classes permet l'abstraire du problème. En formalisme UML, le diagramme d'une classe présente dans une forme rectangulaire son nom, ses attributs et ses opérations.

Les classes peuvent être reliées entre elles, manifestant ainsi les liens pouvant exister entre les instances (les objets). Parmi les relations proposées par le formalisme UML, on peut distinguer :

- L'*association simple* qui caractérise une dépendance entre classes et une nécessité de communiquer. Elle fait souvent apparaître des formes verbales dans le problème à modéliser [ex : un lecteur (instance de la classe " lecteur ") lit un livre (instance de la classe " livre ")]. Elle est représentée par des traits continus entre les classes.

- La *généralisation/spécialisation* qui lie une super-classe à des sous-classes : la super-classe généralise la structure de sa (ou de ses) sous-classe(s). Elle est représentée par une flèche qui pointe de la classe la plus spécialisée vers la classe la plus générale. La tête de la flèche est caractérisée par un triangle vide. L'*héritage* est un autre terme donné à cette relation du point de vue de la sous-classe. Il permet à une classe d'objets (sous-classe) de réutiliser les attributs et les opérations (méthodes) définis pour une classe plus générale (super-classe).
- L'*agrégation* (losange)/*composition* permet de décrire un objet composite en terme d'objets qui le constituent. Elle lie des classes dont la sémantique est proche de celle de la relation " *tout/partie* ", les distinctions intervenant sur la nature des contraintes (plus ou moins lâches) entre la classe " *tout* " et les classes " *composants ou parties* ". Elle est représentée par un petit losange blanc (cas de l'agrégation) ou noir (cas de la composition : lorsqu'il s'agit de l'association correspondant à la contenance) du côté de l'agrégat.

Toutes ces relations sont des associations de type simple ou complexe. Pour plus de renseignements, il est utile de nommer les associations. Pour cela, le nom de ces dernières se met au milieu de la ligne qui symbolise l'association, en italique et sous forme verbale en général. Le sens de la lecture de l'association peut être précisé au moyen des symboles « < » ou « > ». De même, on peut indiquer à chaque extrémité le rôle qui décrit comment une classe voit une autre classe à travers une association. On peut aussi préciser la multiplicité (**Figure 1**) des associations (nombre d'occurrences minimale et maximale possibles d'objets impliqués dans l'association).

Classes, associations, généralisation/spécialisation, agrégation/composition sont représentées dans des diagrammes structurels nommés « diagrammes de classes ».

Les objets du système communiquent et interagissent entre eux par envoi de messages. Un envoi de message correspond à l'invocation d'une opération sur l'instance concernée et peut provoquer une réaction de celui-ci.

Dans la **figure 1** est représenté un diagramme de classes dans lequel on traduit le fait que des personnes (qui peuvent être des agriculteurs ou des commerçants) résident dans un village qui est un des constituants d'un département.

D'autre part, à travers les **modèles de " cas d'utilisation "** (*use case*), le formalisme UML sert à saisir le comportement attendu d'un système en interaction avec les utilisateurs, sans avoir à préciser la façon dont le comportement est réalisé.

Ils permettent de définir et structurer les besoins des utilisateurs et ainsi de centrer la définition de l'architecture du système sur satisfaction (réalisation) de ces besoins. Le modèle de " cas d'utilisation " met en scène des acteurs, symbolisés par des personnages, qui représentent toute personne ou élément qui entre en interaction avec le système. Le nom donné à un acteur décrit son rôle au sein du système : utilisateur, responsable de la maintenance, etc.

Ce sont les acteurs qui déclenchent les cas d'utilisation, qu'on représente par des ellipses. Un exemple de modèle de cas d'utilisation est donné en **figure 2**. Il présente de manière générale un système d'information où l'on distingue deux grands types d'utilisateurs qui interagissent avec le système : le fournisseur de données qui crée de la donnée et peut la modifier, et le consommateur qui consulte les données.

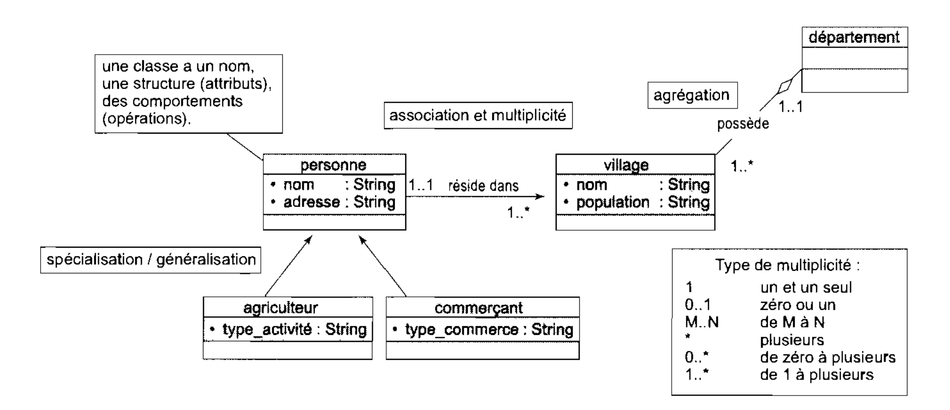


***Figure 1 :** Exemple de diagramme structurel (formalisme UML).*

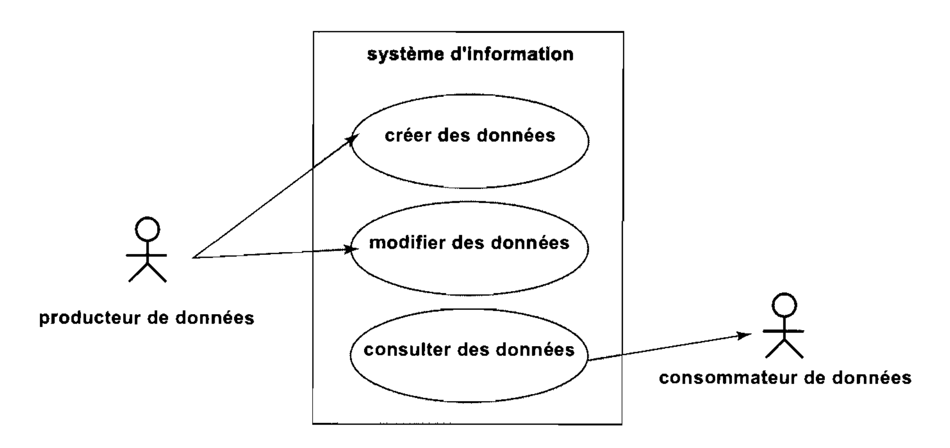


***Figure 2 :** Diagramme de cas d'utilisation (formalisme UML).*

*

* *

Annexe 2 : Stéréotypes utilisés

Les trois stéréotypes sont représentés dans la **figure 1** en utilisant l'exemple des trois classes suivantes : “ station ”, “ transect ” et “ USR ”. Chacun d'entre eux est défini à la fois par sa composante attributaire et sa composante spatiale en montrant sa filiation à l'objet spatial générique **“ point ”**, **“ ligne ”** et **“ polygone ”**. La station a une dimension surfacique réelle, mais elle est ici considérée comme un “ point ” de mesure, à l'échelle du territoire de l'observatoire. Pour le stéréotype “ polygone ”, la dimension temporelle entre les deux composantes est modélisée. Elle permet de délimiter dans le temps la relation entre les attributs de l'objet et sa représentation spatiale.

La dimension temporelle peut être rattachée à n'importe quelle association afin de définir l'évolution temporelle des objets et en garder une trace.

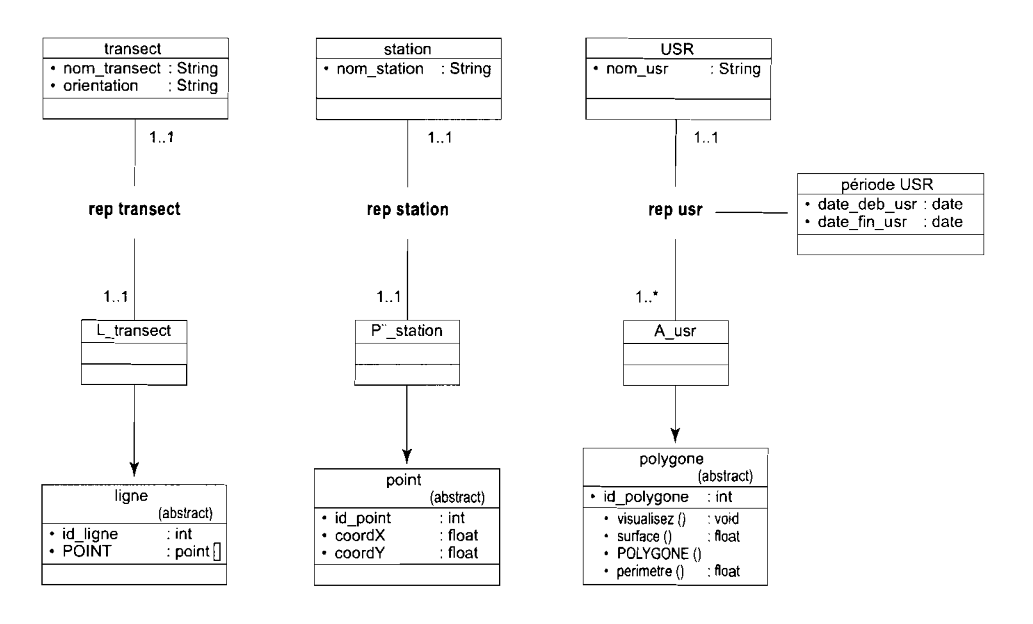


***Figure 1 :** Stéréotypes **“ point ”**, **“ ligne ”** et **“ polygone ”** avec leurs dimensions temporelles.*

*

* *

Liste des abréviations et des sigles

AFD	Agence Française de Développement.
CCE	Commission des Communautés Économiques (actuellement Union, Européenne).
GCRAI	Groupe Consultatif de Recherche Agronomique Internationale.
IPA	Indice de Prélèvement Absolu.
IPR	Indice de Prélèvement Relatif.
OCDE	Organisation de Coopération et Développement Économique.
OR	Opérateur Régional.
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel (Tunis, Tunisie).
PMC	Production Moyenne par Cycle (d'exploitation).
ROSELT	Réseau d'Observatoires de Surveillance Écologique à Long Terme.
SGBD	Système de Gestion de Bases de Données.
SIE	Système d'Information sur l'Environnement.
SIEL	Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale.
SIG	Système d'Information Géographique.
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre – *satellite for observing the Earth* (Toulouse, France).
UGB	Unité de Gros Bétail.
UML	*United Modelling Language.*
UP	Unité Paysagère.
UPC	Unité de Pratiques Combinées.
USR	Unité Spatiale de Référence.

PAO – DAO : SIM – 04 67 84 34 58
Impression : ATELIER SIX – 04 67 63 52 00
3ème trimestre 2005.

Collection Roselt/Oss

Contributions Techniques



CT1 : Guide Roselt/Oss pour l'évaluation et la surveillance de la végétation.

CT2 : Guide Roselt/Oss pour l'évaluation et le suivi des pratiques d'exploitation des ressources naturelles.

CT3 : Manuel d'utilisation de l'outil SIEL - Roselt/Oss (version 1.3).

CT4 : Application des indicateurs écologiques de la dégradation des terres à l'observatoire de Menzel Habib (Tunisie).

TC5 : Surveillance of ecological changes in the Roselt/Oss observatory of El Omayed (Egypt) : first results.

CT6 : Recherche des indicateurs de changement écologique et de la biodiversité dans l'observatoire de Oued Mird (Maroc) : premiers résultats.

CT7 : Surveillance des changements écologiques dans l'observatoire Roselt/Oss de Haddej-Bou Hedma (Tunisie) : premiers résultats.

CT8 : Espaces-ressources-usages : première application du Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale sur l'observatoire Roselt/Oss de Banizoumbou (Niger).

CT9 : Recherche d'indicateurs de désertification par analyse comparative de quelques observatoires Roselt/Oss.

CT10 : Une approche spatiale pour la surveillance de la faune – Étude de cas au sud du Maroc : la vallée de l'oued Mird.

CT11 : Guide pour l'évaluation et la surveillance des états de surface et des sols.

CT12 : Système de circulation de l'information Roselt/Oss : définition des métadonnées et élaboration des catalogues de référence.

CT13 : Guide Roselt/Oss pour la cartographie dynamique de la végétation et des paysages.

CT14 : Fiches Techniques pour la construction de quelques indicateurs écologiques Roselt/Oss.

CT15 : Synthèse comparative de quatre années de surveillance environnementale sur trois observatoires Roselt/Oss du Nord de l'Afrique : El Omayed, Haddej-Bou Hedma et Oued Mird.

CT16 : L'approche foncière environnementale : droit et anthropologie à la rencontre des sciences écologiques.

Documents Scientifiques



DS1 : Conception, organisation et mise en œuvre de Roselt/Oss.

DS2 : Organisation, fonctionnement et méthodes de Roselt/Oss.

DS3 : Concepts et méthodes du SIEL - Roselt/Oss (Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale).

DS4 : Indicateurs écologiques Roselt/Oss. Une première approche méthodologique pour la surveillance de la biodiversité et des changements environnementaux.

SD1 : Conceptual, organizational and operational framework of Roselt/Oss.

SD2 : Roselt/Oss organization, operation and methods, edition 2001, revised in 2004.

SD3 : Concepts and methods of Roselt/Oss-LEIS (Local Environment Information System).

SD4 : Roselt/Oss ecological indicators first methodological approach for the surveillance of biodiversity and environmental changes.





Roselt / Oss
Réseau d'Observatoires de Surveillance Écologique à Long Terme
Centre Ird
BP 64501 - 34394 Montpellier Cedex 5 - France
Tél. : (33 ou 0) 4 67 16 31 90
Fax : (33 ou 0) 4 67 16 31 99
www.roselt-oss.org



Oss
Observatoire du Sahara et du Sahel
Boulevard de l'Environnement
BP 31 - 1080 Tunis Cedex - Tunisie
Tél. : (216) 71 80 65 22 ou (216) 71 80 68 91
www.unesco.org/oss



Ird
Institut de Recherche pour le Développement
Chef de file de la coordination régionale Roselt / Oss
Département Milieux et Environnement
213, rue La Fayette - 75480 Paris Cedex 10 - France
www.ird.fr

ISBN : 9973-856-12-0